



**TUGAS AKHIR - TK145501**

# **PABRIK AMIL ALKOHOL DARI PENTANA DAN KLOORIN DENGAN PROSES KLOORINASI**

Nuvies Dwi Kurniaty  
NRP. 2314 030 107

Lita Laraswati  
NRP. 2314 030 113

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

Co Dosen Pembimbing  
Achmad Ferdiansyah P.P, ST, MT.

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**



FINAL PROJECT - TK145501

## AMYL ALCOHOL PLANT FROM PENTANE AND CHLORINE WITH CHLORINATION METHOD

Nuvies Dwi Kurniaty  
NRP. 2314 030 107

Lita Laraswati  
NRP. 2314 030 113

Lecturer  
Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

Co Lecturer  
Achmad Ferdiansyah P.P, ST, MT.

STUDY PROGRAM OF DIII CHEMICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL CHEMICAL ENGINEERING  
Faculty of Vocation  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2017

## LEMBAR PENGESAHAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL : PABRIK AMIL ALKOHOL DARI PENTANA DAN KLOORIN DENGAN PROSES KLOORINASI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

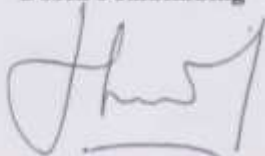
Oleh

Nuvies Dwi Kurniaty  
Lita Laraswati

(NRP 2314 030 107)  
(NRP 2314 030 113)

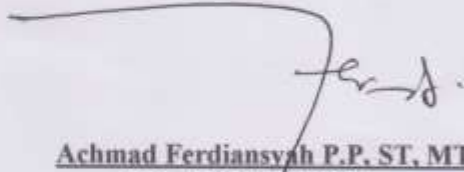
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT  
NIP. 19580703 198502 2 001

Dosen Co Pembimbing



Achmad Ferdiansyah P.P, ST, MT  
NIP. 2300201308002

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri  
FV-ITS



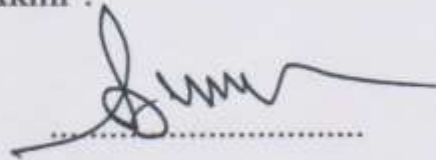
Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir  
pada tanggal 12 Juli 2017 untuk tugas akhir dengan judul  
**“Pabrik Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses  
Klorinasi”**  
yang disusun oleh :

**Nuvies Dwi Kurniaty**  
**Lita Laraswati**

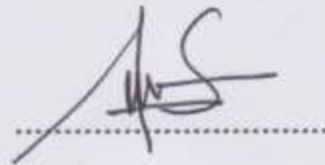
**(NRP 2314 030 107)**  
**(NRP 2314 030 113)**

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Ir. Agung Subyakto, MS.

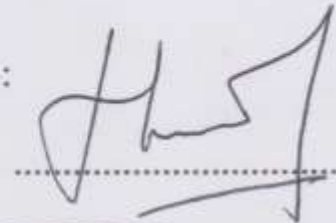


2. Ir. Agus Surono, M.T.

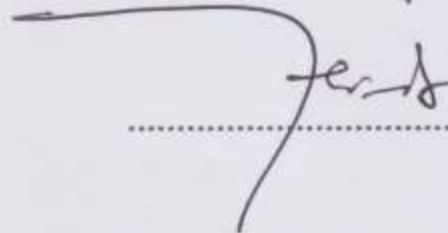


Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT



2. Achmad Ferdiansyah PP, ST, MT



SURABAYA, 20 JULI 2017



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang menguasai alam semesta ini, sholawat serta salam kebaikan tak lupa selalu kami haturkan kepada junjungan kami Rosululloh Muhammad SAW. Tiada pertolongan kecuali atas limpahan rahmat dan nikmat Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan Proses Klorinasi”. Tugas Akhir disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada Program Studi Diploma III Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat saran, dorongan, bimbingan sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan pertolongan-NYA
2. Orang tua dan keluarga yang senantiasa mencurahkan dukungan dan doanya dalam setiap langkah kami serta jasa-jasa lain yang terlalu sulit untuk diungkapkan.
3. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS. selaku Ketua Program Studi Diploma III Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si., MT. selaku Koordinator Pelaksanaan Tugas Akhir Program Studi Diploma III Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Ibu Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT dan Bapak Achmad Ferdiansyah PP, ST, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi Diploma III Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

6. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS. dan Bapak Ir. Agus Surono, MT selaku Dosen Penguji Tugas Akhir Program Studi Diploma III Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Prof.Ir. Ali Altway M.Sc yang telah membimbing dan membantu Tugas Akhir
8. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si., MT. selaku Dosen Wali
9. Segenap Dosen, staf dan karyawan Program Studi Diploma III Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
10. Seluruh teman-teman angkatan 2014 (Nitro'14) DIII Teknik Kimia Industri yang telah memberikan motivasi dan semangat.
11. Dan semua pihak yang telah membantu penyusun hingga terselesainya laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan yang dibuat baik sengaja maupun tidak sengaja dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang penulis miliki. Untuk itu penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut, serta penulis mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata semoga dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, pembaca dan masyarakat luas. Amin

Surabaya, 03 Juli 2017

Penulis

## **PABRIK AMIL ALKOHOL DARI PENTANA DAN KLOORIN DENGAN PROSES KLOORINASI**

Nama Mahasiswa : Nuvies Dwi Kurniaty (2314 030 107)  
Lita Laraswati (2314 030 113)  
Program Studi : DIII Departemen Teknik Kimia Industri  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.  
Co-Dosen Pembimbing : Achmad Ferdiansyah P. P., S.T., M.T.

### **ABSTRAK**

*Seiring dengan perkembangan zaman, perkembangan industri di Indonesia saat ini mengalami peningkatan di segala bidang. Peningkatan yang pesat baik secara kualitatif dan kuantitatif juga terjadi dalam industri kimia, dikarenakan kebutuhan akan bahan-bahan kimia di Indonesia akan semakin besar. Namun, kebutuhan berbagai bahan kimia masih sering mengandalkan impor dari luar negeri. Berdasarkan data statistik industri dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2016, kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia selalu meningkat dari tahun ke tahunnya. Kebutuhan rata-rata terhadap Amil Alkohol per tahunnya yaitu sekitar 7.496 ton dari tahun 2011-2015.*

*Proses produksi amil alkohol dapat dilakukan dengan beberapa cara. Proses yang biasa digunakan dapat berupa fraksinasi dari minyak fusel, proses oxo alkohol, dan proses klorinasi. Secara konvensional, metode yang paling banyak digunakan dalam pembuatan amil alkohol adalah dengan proses klorinasi.*

*Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dengan basis 24 jam/hari. Bahan baku pentana yang dibutuhkan sebanyak 20.329 pentana/hari dan klorin sebanyak 20.197 kg klorin/hari dengan bahan baku pendukung Asam Oleat sebagai katalisator. Kebutuhan utilitas meliputi air sanitasi sebanyak 43,2 m<sup>3</sup>/hari, water make up pendingin sebanyak 73,97 m<sup>3</sup>/hari, water proses sebanyak 12,14 m<sup>3</sup>/hari dan air make up boiler sebanyak 29,76 m<sup>3</sup>/hari, sehingga jumlah air yang dibutuhkan sebesar 158,97 m<sup>3</sup>/hari*

**Kata kunci:** Klorinasi, Pentana, Klorin, Amil Alkohol

## AMYL ALCOHOL PLANT FROM PENTANE AND CHLORINE WITH CHLORINATION METHOD

Student Name : Nuvies Dwi Kurniaty (2314 030 107)  
Lita Laraswati (2314 030 113)  
Study Program :DIII-Chemical Engineering Departement  
Lecture : Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.  
Co-Lecture : Achmad Ferdiansyah P. P., S.T., M.T.

### ABSTRAK

*Nowadays, industrial development in indonesia is increased in all fields .A rapid progress both of a qualitative and quantitative also occurred in the chemical industry , because the need for chemicals in indonesia will be bigger .But , the needs of various chemicals often still rely on imports from overseas .Based on the data from industry statistics from the central bureau of statistics in the year 2016 , the needs of amyl alcohol in indonesia is increasing from year to year .The needs of the average against amyl alcohol per year which is about 7.496 tons from 2011-2015 year.*

*.Any process affecting the production of amyl alcohols can be done by some ways .The normal process can be used in the form of fractionate of fusel oil , the process of oxo alcohol, and the process of chlorination .In an unconventional manner , a method of the most widely used in the manufacture of amyl alcohol is with the process of chlorination.*

*This factory is planned to operate continuously for 330 days a year with the base 24 hours/day .The raw material of pentane it takes as many as 20.329 of pentane/day and chlorine as many as 20.197 kg/day chlorine with the raw material of a supporter of oleic acid as catalyst. Utility covering the needs of water sanitation 43,2 m<sup>3</sup>/day, water makeup cooling 73,97 m<sup>3</sup>/day , water the process of as many as 12,14 m<sup>3</sup>/day and water makeup boiler 29,76 m<sup>3</sup>/day , so as to how much water as much as 158,97 m<sup>3</sup> per day.*

**Kata kunci:** Chlorination, Pentane, Chlorine, Amyl Alcohol

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GRAFIK .....	x
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang .....	I-1
I.2 Dasar Teori .....	I-10
I.3 Kegunaan Amil Alkohol .....	I-13
I.4 Sifat Fisika dan Kimia .....	I-14
BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES	
II.1 Macam Proses.....	II-1
II.2 Seleksi Proses .....	II-7
II.3 Uraian Proses Terpilih.....	II-9
BAB III NERACA MASSA.....	III-1
BAB IV NERACA ENERGI .....	IV-1
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....	V-1
BAB VI UTILITAS .....	VI-1
VI.1 Utilitas Secara Umum .....	VI-1
VI.2 Utilitas di Pabrik Amil Alkohol .....	VI-4
VI.3 Listrik.....	VI-6
BAB VII KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA	
VII.1 Pengertian dan Tujuan K3 .....	VII-1
VII.2 Sebab-sebab terjadinya kecelakaan .....	VII-1
VII.3 Hal-hal Yang Diperhatikan Tentang K3 .....	VII-2
VII.4 Penggunaan APD.....	VII-5
VII.5 Peraturan Peraturan Umum K3 di Pabrik <i>Amyl Alcohol</i> .....	VII-11

## BAB VIII INSTRUMENTASI

VIII.1 Pendahuluan .....	VIII-1
VIII.2 Metode dan Jenis Instrumentasi .....	VIII-3
VIII.3 Instrumentasi dalam pabrik Amil Alkohol .....	VIII-5
BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA .....	IX-1
BAB X KESIMPULAN .....	X-1
DAFTAR NOTASI .....	xi
DAFTAR PUSTAKA.....	xiii
LAMPIRAN:	

1. Apendiks A – Neraca Massa
2. Apendiks B – Neraca Energi
3. Apendiks C – Spesifikasi Alat
4. *Flowsheet*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar I.1</b>	Lokasi Pabrik Amil Alkohol di Cilegon .....	I-10
<b>Gambar I.2</b>	Struktur Molekul Amil Alkohol.....	I-10
<b>Gambar I.3</b>	Diagram Alir Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Fusel Oil.....	I-11
<b>Gambar I.4</b>	Diagram Alir Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Oxo.....	I-12
<b>Gambar I.5</b>	Diagram Alir Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Klorinasi.....	I-13
<b>Gambar II.1</b>	Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Fusel Oil .....	II-2
<b>Gambar II.2</b>	Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Oxo .....	II-4
<b>Gambar II.3</b>	Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Klorinasi.....	II-6
<b>Gambar VII.1</b>	Alat Pelindung Kepala .....	VII-6
<b>Gambar VII.2</b>	Alat Pelindung Mata dan Muka .....	VII-7
<b>Gambar VII.3</b>	Alat Pelindung Telinga .....	VII-7
<b>Gambar VII.4</b>	Alat Pelindung Penafasan .....	VII-8
<b>Gambar VII.5</b>	Alat Pelindung Tangan .....	VII-9
<b>Gambar VII.6</b>	Pakaian Pelindung .....	VII-10
<b>Gambar IX.1</b>	Diagram Pengolahan Limbah Gas .....	IX-3
<b>Gambar IX.2</b>	Diagram Pengolahan Limbah Liquid .....	IX-5

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel I.1</b>	Kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia berdasarkan data impor .....I-3
<b>Tabel I.2</b>	Data Industri Produsen Pentana.....I-4
<b>Tabel I.3</b>	Data Industri Produsen Klorin .....I-4
<b>Tabel I.4</b>	Data Industri Produsen Bahan Pendukung .....I-5
<b>Tabel I.5</b>	Penggunaan Amil Alkohol di dunia Industri.....I-6
<b>Tabel I.6</b>	Data Industri Produsen Amil Alkohol di Cina.....I-6
<b>Tabel I.7</b>	Sifat Produk Utama Amil Alkohol .....I-17
<b>Tabel II.1</b>	Perbandingan Macam-macam Proses Pembuatan Amil Alkohol ..... II-7
<b>Tabel III.1</b>	Komposisi Bahan Baku ..... III-1
<b>Tabel III.2</b>	Komposisi Make Up Tank..... III-1
<b>Tabel III.3</b>	Neraca massa komponen reaktor ..... III-2
<b>Tabel III.4</b>	Neraca massa Flash Tank ..... III-2
<b>Tabel III.5</b>	Neraca massa D-230 ..... III-2
<b>Tabel III.6</b>	Neraca massa Kondensor ..... III-3
<b>Tabel III.7</b>	Neraca massa (kg) E-266..... III-3
<b>Tabel III.8</b>	Neraca massa D-230 ..... III-4
<b>Tabel III.9</b>	Neraca massa (Kg) E-242..... III-4
<b>Tabel III.10</b>	Neraca massa E-234 ..... III-5
<b>Tabel III.11</b>	Neraca massa komponen reaktor ..... III-5
<b>Tabel III.12</b>	Neraca Massa Dekanter (H-323)..... III-6
<b>Tabel III.13</b>	Neraca massa D-320 ..... III-6
<b>Tabel III.14</b>	Neraca massa E-324 ..... III-7
<b>Tabel III.15</b>	Neraca massa E-326 ..... III-7
<b>Tabel IV.1</b>	Neraca Energi Pentana Vaporizer .....IV-1
<b>Tabel IV.2</b>	Neraca Energi Klorin Vaporizer .....IV-1
<b>Tabel IV.3</b>	Neraca Energi Heater .....IV-2
<b>Tabel IV.4</b>	Neraca Energi Reaktor .....IV-2
<b>Tabel IV.5</b>	Neraca Energi Waste Heat Boiler .....IV-2
<b>Tabel IV.6</b>	Neraca Energi Kolom Amil Kloride .....IV-3
<b>Tabel IV.7</b>	Neraca Energi Kolom Amil Dikloride .....IV-3
<b>Tabel IV.8</b>	Neraca Energi Cooler .....IV-3



<b>Tabel IV.9</b>	Neraca Energi Reaktor .....	IV-4
<b>Tabel IV.10</b>	Neraca Energi Heater .....	IV-4
<b>Tabel IV.11</b>	Neraca Energi Kolom Amil Alkohol .....	IV-4
<b>Tabel VI.1</b>	Kebutuhan Air Pendingin .....	VI-5
<b>Tabel VI.2</b>	Kebutuhan <i>steam</i> .....	VI-6
<b>Tabel VI.3</b>	Kebutuhan Air Proses.....	VI-7
<b>Tabel VI.4</b>	Kebutuhan Air Tiap Hari.....	VI-8
<b>Tabel VII.1</b>	Perbandingan sifat kimia pada Bahan Baku di Pabrik Amil Alkohol .....	VII-11
<b>Tabel VII.2</b>	Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Pabrik Amil Alkohol .....	VII-13
<b>Tabel VII.3</b>	Perbandingan sifat kimia pada Bahan Baku di Pabrik Amil Alkohol .....	VII-11
<b>Tabel VIII.1</b>	Identifikasi instrumen.....	VIII-3
<b>Tabel VIII.2</b>	Sistem <i>Control</i> di Pabrik <i>Amil Alkohol</i> .....	VIII-5

## **DAFTAR GRAFIK**

<b>Grafik I.1</b>	Kurva Grafik Impor Amil Alkohol .....	I-7
-------------------	---------------------------------------	-----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 LATAR BELAKANG**

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang menggalakkan pembangunan, termasuk di bidang industri. Seiring dengan perkembangan zaman, perkembangan industri di Indonesia saat ini mengalami peningkatan di segala bidang. Peningkatan yang pesat baik secara kualitatif dan kuantitatif juga terjadi dalam industri kimia, dikarenakan kebutuhan akan bahan-bahan kimia di Indonesia akan semakin besar. Namun, kebutuhan berbagai bahan kimia masih sering mengandalkan impor dari luar negeri terutama Cina dan India. Salah satu komoditi bahan kimia yang masih banyak diimpor oleh Indonesia adalah Amil Alkohol.

Kebutuhan Amil Alkohol mengacu pada data statistik industri yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistika, permintaan terhadap Amil Alkohol di Indonesia selalu meningkat dari tahun ke tahun. Kebutuhan rata-rata terhadap Amil Alkohol per tahunnya yaitu sekitar 7.496 ton dari tahun 2011-2015. Menurut McKetta (1977) Amil Alkohol ( $C_5H_{12}O$ ) merupakan bahan kimia yang banyak dibutuhkan untuk berbagai proses industri diantaranya sebagai pelarut, *extracting agent*, dan bahan aditif dalam pembuatan pelumas. Selain itu, Amil Alkohol juga banyak digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, cat, penambangan minyak, dan pembuatan amil asetat. Keunggulan dari Amil Alkohol adalah sifatnya yang tidak berbahaya bagi lingkungan atau dikenal dengan istilah *non hazardous air pollutant*.

Berdasarkan uraian diatas, Amil Alkohol merupakan kebutuhan yang masih diperkirakan akan semakin terus meningkat setiap tahunnya mengingat banyak industri yang membutuhkan pelarut organik dalam prosesnya. Selama ini kebutuhan akan Amil Alkohol selalu dipenuhi melalui kegiatan impor. Pendirian pabrik Amil Alkohol di Indonesia selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri juga akan diproyeksikan untuk ekspor. Dengan didirikannya pabrik Amil Alkohol ini



diharapkan mampu memberikan keuntungan sebagai berikut mengurangi ketergantungan impor, membantu pabrik-pabrik di Indonesia yang menggunakan bahan baku Amil Alkohol, menambah devisa Negara, mengembangkan penguasaan teknologi dan membuka lapangan pekerjaan baru bagi penduduk sehingga menurunkan angka pengangguran. Berdasarkan pertimbangan di atas dan dengan melihat kebutuhan dan peluang pasar maka pendirian pabrik Amil Alkohol di Indonesia dipandang cukup strategis.

### **I.1.1 Sejarah**

Amil Alkohol pertama kali dikembangkan oleh Sharples dan Rennsasl sebelum tahun 1920. Pada tahun itu, satu-satunya sumber ekonomis Amil Alkohol adalah minyak fusel, yang terbentuk sebagai produk minor dalam fermentasi karbohidrat untuk membuat etil alkohol (etanol). Ada beberapa kekurangan dari proses ini, yaitu sulit menjaga konsistensi produk yang dihasilkan, dan kemurniannya sangat rendah. Sehingga dari kekurangan ini ada beberapa proses pembaruan yaitu proses oxo. Proses oxo sendiri juga dianggap kurang efisien, sehingga terdapat pembaruan kembali pada tahun 1930, berbasis minyak bumi Amil Alkohol awalnya diperoleh melalui Klorinasi pentana (McKetta, 1977).

Dalam klorinasi Pentana, pentana dikeringkan menggunakan uap HCl dan dicampur dengan klorin dalam rasio 15: 1. Gas memasuki *furnace* pada 120°C, kemudian bereaksi dan keluar pada 260°C. Setelah itu didinginkan kemudian difraksinasi, untuk pentana yang tidak bereaksi didaur ulang, hal ini penting untuk mengontrol konsentrasi klorin guna menghindari produk yang tidak diinginkan seperti di-*chloropentane*, kemudian di destilasi sehingga menghasilkan amil klorida. Amil Klorida yang selanjutnya dikirim ke digester dengan NaOH yang dikatalisis oleh Asam Oleate digunakan untuk membantu agar reaksi berjalan baik serta reaksi bersifat eksotermis. Selain reaksi utama, terjadi reaksi samping berupa pembentukan amilene ( $C_5H_{10}$ ). Dari



digester, setelah melewati kondensor dan pemisah campuran dikirim ke kolom distilasi di mana dari hasil distilasi mendapatkan yield 70% murni amil alkohol. Di USA kapasitas produksi Amil Alkohol pada tahun 1971 adalah 23.000.000 lb/tahun dan permintaan Amil Alkohol diperkirakan akan meningkat di tahun-tahun mendatang karena penggunaannya dalam berbagai bidang lainnya yang diharapkan juga meningkat (McKetta, 1977).

### I.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Amil Alkohol merupakan senyawa kimia yang cukup penting dalam industri karena kegunaanya yang bisa menjadi pelarut atau sebagai bahan antara untuk industri kimia sebagai *solvent*, bahan *coating*, tinta (*printing ink*), dan sebagai pelarut pada industri farmasi, kosmetik dan cat, serta bahan baku dalam pembuatan amil asetat. Kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia untuk 7 tahun terakhir mulai dari tahun 2009 sampai sekarang dapat dilihat pada **Tabel 1.1** data impor Amil Alkohol di Indonesia yaitu sebagai berikut :

**Tabel 1.1** Kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia berdasarkan data impor

No.	Tahun	Jumlah (Ton)
1	2009	6.081,4
2	2010	6.813,3
3	2011	6.708,1
4	2012	7.440,8
5	2013	9.182,7
6	2014	7.028,7
7	2015	7.119,9

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2016)

Dari data diatas menunjukkan bahwa kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2010 mengalami peningkatan, namun ketika tahun 2011 mengalami penurunan kebutuhan Amil Alkohol dan kembali mengalami



peningkatan jumlah kebutuhan Amil Alkohol pada tahun 2012 sampai tahun 2013. Namun ketika tahun 2014 mengalami penurunan kebutuhan Amil Alkohol dan kembali mengalami peningkatan jumlah kebutuhan Amil Alkohol pada tahun 2015. Hal tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia mengalami fluktuatif namun cenderung mengalami peningkatan untuk tiap tahunnya sehingga dapat disimpulkan bahwa di Indonesia Amil Alkohol cukup dibutuhkan. Sedangkan sampai saat ini di Indonesia belum terdapat pabrik Amil Alkohol, sehingga untuk memenuhi kebutuhan amil alkohol dalam negeri dilakukan impor dari luar negeri. Dengan pertimbangan diatas maka direncanakan pendirian pabrik Amil Alkohol baru di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan Amil Alkohol dalam negeri dipandang cukup strategis.

### I.1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Semakin besarnya kebutuhan Amil Alkohol, maka kebutuhan akan bahan baku pun juga semakin meningkat. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan Amil Alkohol yaitu Pentana dan Klorin. Untuk bahan baku Pentana, mengingat bahan baku tersebut tidak ada yang memproduksi di dalam negeri sehingga dapat mengimpor dari luar negeri. Berikut adalah negara yang memproduksi dan mengekspor pentana di dunia :

**Tabel 1.2** Data Industri Produsen Pentana

<b>Nama Industri</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (Ton/Tahun)</b>
<i>Qingdao Eastchem Inc</i>	Cina	40.000
<i>Haihang Inc</i>	Cina	20.000
<i>Shangdong Yuean Chemical Industry</i>	Cina	500.000



Untuk bahan baku Klorin dapat diperoleh di Indonesia dan berikut adalah industri-industri produsen Klorin di Indonesia:

**Tabel 1.3** Data Industri Produsen Klorin

<b>Nama Industri</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (Ton/Tahun)</b>
PT. Asahimas Subentra Chemical	Cilegon	28.600
PT. Sulfindo Adiusaha	Banten	300.000

Untuk bahan pendukung pembuatan Amil Alkohol dapat diperoleh di Indonesia dan berikut adalah industri-industri produsen bahan pendukung pembuatan Amil Alkohol di Indonesia :

**Tabel 1.4** Data Industri Produsen Bahan Pendukung

<b>Bahan Pendukung</b>	<b>Nama Industri</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (Ton/Tahun)</b>
NaOH	1. PT. Asahimas Subentra Chemical	Cilegon	500.000
	2. PT. Sulfindo Adiusaha	Banten	320.000
HCl	PT. Asahimas Subentra Chemical	Cilegon	82.000

Dengan mempertimbangkan jumlah ketersediaan bahan baku utama Pentana di luar negeri yang ditunjukkan pada **Tabel 1.2**, maka untuk memenuhi kebutuhan bahan baku Pentana dapat dilakukan dengan mengimpor Pentana dari negara produsen Pentana diatas. Dan untuk bahan baku Klorin, serta bahan pendukung Natrium Hidroksida dan Asam Klorida dapat disuplai dari industri-industri di Indonesia seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1.3** dan **Tabel 1.4**. Dari data yang diperoleh diatas dapat dipastikan bahwa ketersediaan bahan baku utama maupun bahan pendukung dapat terpenuhi sehingga mampu menunjang keberlanjutan pabrik Amil Alkohol yang akan didirikan.



### I.1.4 Kebutuhan dan Aspek Pasar

Amil Alkohol merupakan suatu bahan kimia yang memiliki banyak kegunaan, salah satu diantaranya Amil Alkohol merupakan bahan antara yang biasanya digunakan sebagai pelarut aktif beberapa resin sintesis. Oleh karena kegunaannya yang banyak, maka amil alkohol dibutuhkan di berbagai sektor industri. Pendirian pabrik Amil Alkohol merupakan salah satu pilihan yang tepat karena akan mudah memasarkan produk amil alkohol ke industri-industri yang berada di Indonesia dengan mempertimbangkan juga data impor Amil Alkohol yang terbilang cukup dibutuhkan. Berikut beberapa Industri di Indonesia yang membutuhkan Amil Alkohol dalam proses pembuatannya:

**Tabel 1.5** Penggunaan Amil Alkohol di dunia Industri

Macam Industri	Fungsi
Industri Cat	Pelarut
Kosmetik	Pelarut
Pelumas	Pelarut
Thinner	Pelarut
Industri Amil Asetat	Bahan baku

### I.1.5 Kapasitas Produksi

Dalam penentuan kapasitas produksi pabrik Amil Alkohol di Indonesia juga harus mempertimbangkan kapasitas produksi Amil Alkohol pada industri produsen Amil Alkohol di luar negeri sebagai dasar penentuan kapasitas produksi minimal pabrik Amil Alkohol di Indonesia. Salah satu industri produsen Amil Alkohol yang terdapat di luar negeri yaitu di negara Cina, untuk kapasitas produksi industri produsen Amil Alkohol di Cina dapat ditunjukkan pada tabel berikut

**Tabel 1.6** Data Industri Produsen Amil Alkohol di Cina

Nama Industri	Kapasitas (Ton/Tahun)
<i>Beijing Huamaoyuan Fragrance Flavor Co., Ltd</i>	6.000
<i>Zhengzhou Yibang Industri Co.,Ltd</i>	8.000



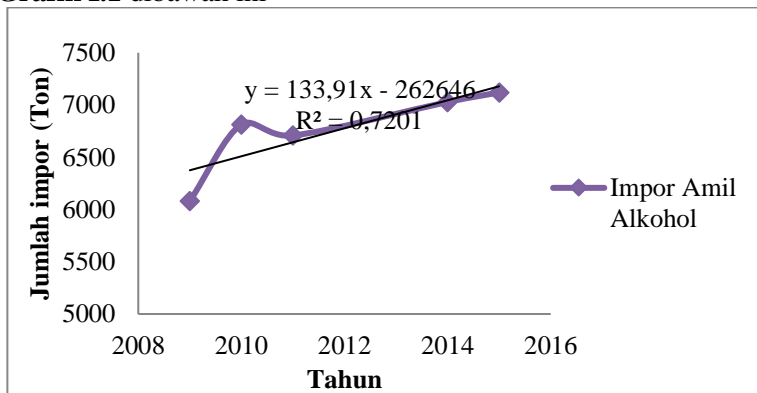


Nama Industri	Kapasitas (Ton/Tahun)
<i>Shandong Dianmei International Trade Co., Ltd</i>	12.000

Berikut adalah beberapa faktor penting dalam perhitungan kapasitas pabrik yaitu:

1. Ketersediaan bahan baku
2. Kapasitas produksi minimal
3. Jumlah kebutuhan atau konsumsi amil alkohol di Indonesia

Untuk memenuhi kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia selama ini dipenuhi oleh impor. Kebutuhan Amil Alkohol di Indonesia berdasarkan data impor ditunjukkan pada **Tabel 1.1** diatas. Dari data kebutuhan Amil Alkohol, didapatkan kurva grafik yang menunjukkan jumlah impor Amil Alkohol tiap tahunnya cenderung mengalami peningkatan namun masih terjadi fluktuatif dalam jumlah impor dikarenakan adanya kenaikan jumlah impor yang cukup tajam pada tahun 2010 dan 2013 yang selanjutnya mengalami penurunan dan peningkatan kembali untuk jumlah impor Amil Alkohol untuk tahun-tahun selanjutnya. Kurva jumlah impor Amil Alkohol di Indonesia ditunjukkan pada **Grafik I.1** dibawah ini



**Grafik I.1** Kurva Grafik Impor Amil Alkohol



Dari **Grafik 1.1** didapatkan persamaan regresi linier untuk memprediksi jumlah impor untuk memenuhi kebutuhan Amil Alkohol tahun 2021 :

$$\begin{aligned} Y &= 133,91 x - 262.646 \\ &= 133,91 (2021) - 262.646 \\ &= 270.632,11 - 262.646 \\ &= 7.988,1 \end{aligned}$$

Dari **Grafik 1.1** didapatkan bahwa impor Amil Alkohol pada tahun 2021 sebesar 7.988,1 ton/tahun. Pabrik direncanakan dapat memenuhi jumlah impor yaitu sejumlah 7.500 ton/tahun. Untuk dasar penentuan kapasitas produksi didapatkan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku yang terdapat pada **Tabel 1.2** dan **Tabel 1.3** serta dengan mempertimbangkan kapasitas produksi Amil Alkohol dari data industri produsen Amil Alkohol di luar negeri yang terdapat pada **Tabel 1.5**

#### **I.1.6 Pemilihan Lokasi Pabrik**

Pemilihan lokasi pendirian pabrik merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kelangsungan suatu pabrik untuk beroperasi jangka panjang. Pabrik Amil Alkohol ini direncanakan didirikan di Cilegon, Provinsi Banten. Adapun dasar pertimbangan pemilihan lokasi tersebut dijelaskan sebagai berikut:

##### **1. Ditinjau dari lokasi ketersediaan sumber bahan baku**

Ketersedian sumber bahan baku merupakan salah satu variabel yang penting dalam pemilihan lokasi pabrik. Untuk menekan biaya penyediaan bahan baku, maka pabrik didirikan berdekatan dengan pabrik yang memproduksi bahan baku klorin seperti yang terdapat di PT. Asahimas Subentra Chemical Cilegon dan di daerah lokasi tersebut terdapat pula pabrik yang menyediakan bahan pendukung lainnya yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan Asam Klorida (HCl). Sedangkan untuk bahan baku Pentana diperoleh dengan impor. Pemilihan Cilegon sebagai lokasi pabrik juga dikarenakan cukup dekat dengan Pelabuhan Merak di daerah Cilegon sehingga dapat mempermudah dalam transportasi bahan baku.



## 2. Pemasaran Produk

Kota Cilegon adalah kota industri yang memiliki 109 industri baik skala kecil maupun besar yang telah didirikan di kota tersebut. Amil Alkohol merupakan bahan antara yang biasanya digunakan sebagai pelarut aktif beberapa resin sintesis. Oleh karena kegunaannya yang cukup banyak, maka Amil Alkohol diperlukan di berbagai sektor industri. Pendirian pabrik di kota ini merupakan salah satu pilihan yang tepat karena akan mudah memasarkan produk Amil Alkohol ke industri-industri yang berada di sekitar kota Cilegon. Selain itu Lokasi pabrik diusahakan cukup dekat dengan lokasi pemasaran atau paling tidak tersedia sarana transportasi yang cukup untuk mengangkut produk ke konsumen. Cilegon adalah kota pelabuhan sehingga sarana transportasi sangat memadai

## 3. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan pelaku dari proses produksi. Ketersediaan tenaga kerja yang terampil dan terdidik akan berbanding lurus dengan kemajuan produksi pabrik Untuk tenaga kerja ahli dan berkualitas dapat mengambil dari lulusan Universitas/Institut di seluruh Indonesia. Untuk tenaga kerja non ahli (operator) dapat mengambil dari non formal (dari daerah sekitar), sehingga tenaga kerja mudah didapatkan.

## 4. Lingkungan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga akan memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

## 5. Ketersediaan Lahan

Faktor ini berkaitan dengan rencana pengembangan pabrik mendatang

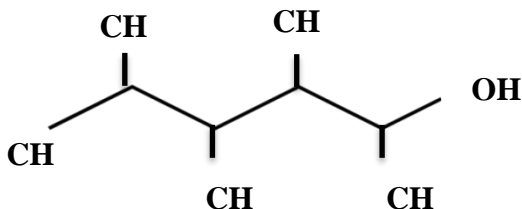


**Gambar 1.1** Lokasi Pabrik Amil Alkohol di Cilegon

## I.2 DASAR TEORI

### I.2.1 Amil Alkohol

Amil Alkohol ( $C_5H_{11}OH$ ) atau yang biasa disebut pentanol merupakan senyawa organik rantai tunggal yang mempunyai berat molekul sebesar 88,15. Amil Alkohol mempunyai 8 isomer, salah satu isomernya berfasa padat pada suhu dan tekanan ruang yaitu 2,2-Dimethylpropan-1-ol. Sedangkan tujuh isomer yang lain pada suhu dan tekanan ruang merupakan cairan yang tidak berwarna, mempunyai bau agak tajam, dan larut dengan pelarut organik (*Kirk dan Othmer, 1978*).



**Gambar 1.2** Struktur Molekul Amil Alkohol

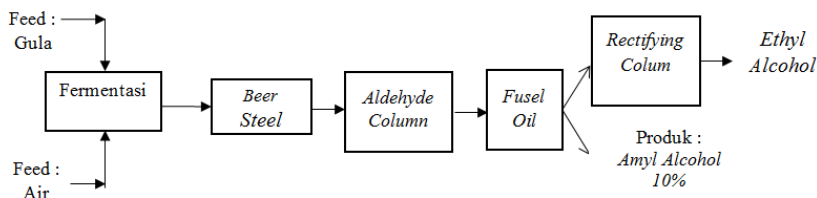


## I.2.2 Proses Produksi Amil Alkohol

Proses produksi Amil Alkohol dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

### a. Fraksinasi dari minyak *fusel oil*

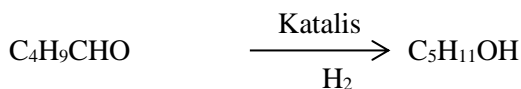
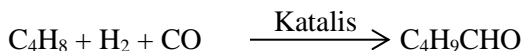
Minyak *fusel* didapat sebagai hasil samping pada fermentasi karbohidrat untuk membuat alkohol. Komposisi minyak *fusel* tergantung pada komposisi bahan fermentasi, tetapi sebagian besar terdiri dari Amil Alkohol dan butil alkohol. Minyak tersebut diproses secara kimiawi dan dimurnikan dengan distilasi. Untuk saat ini, jumlah produksi Amil Alkohol dari *fusel oil* kurang dari 10 % (McKetta, 1992)

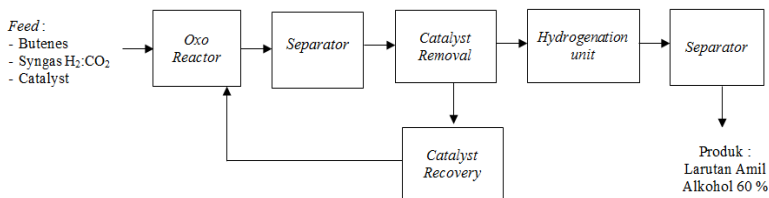


**Gambar 1.3** Diagram Alir Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Fusel Oil

### b. Proses *Oxo*

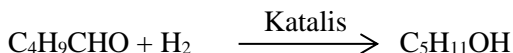
Proses *oxo* dimulai dari pembuatan aldehid dengan cara mereaksikan olefin dengan karbon monoksida dan hidrogen dengan katalis tertentu, biasanya berupa turunan kobalt, pada suhu tinggi (150-18°C) dan tekanan 340 atm. Selanjutnya aldehid dihidrogenasi sehingga diperoleh campuran alkohol (Kirk dan Othmer, 1978).





**Gambar 1.4** Diagram Alir Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Oxo

Proses hidrogenasi valeraldehid merupakan salah satu dari tahapan proses *oxo*. Setelah terbentuk valeraldehid dari tahap hidroformilasi butena, valeraldehid dihidrogenasi dengan menggunakan katalis pada tekanan 0.3-24 MPa dan suhu 50-250°C (Kirk dan Othmer, 1978).

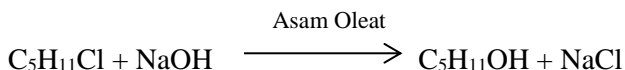
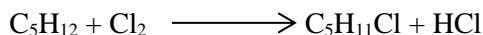


Konversi yang diperoleh dapat mencapai 95% terhadap butena. dengan selektifitas pembentukan Amil Alkohol sebesar 60%.

#### c. Proses Klorinasi

Proses komersial kedua yang dilakukan adalah proses klorinasi yang berkembang pada tahun 1930-an (McKetta, 1992).

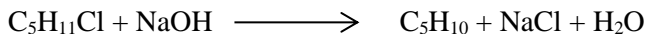
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



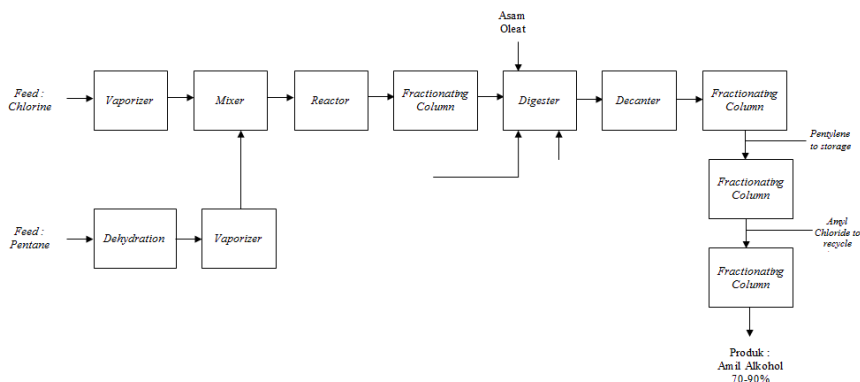
Pentana dalam gas alam direaksikan dengan khlorin menghasilkan amil khlorid. Reaksi antara amil klorida dan NaOH membentuk Amil Alkohol dikerjakan pada suhu operasi 180°C dengan tekanan 10 atm. Katalisator asam oleat



digunakan untuk membantu agar reaksi berjalan baik, serta reaksi bersifat eksotermis. Selain reaksi utama, terjadi reaksi samping berupa pembentukan amilene ( $C_5H_{10}$ ) sebagai berikut:



Konversi total amil klorida adalah 95% dengan selektifitas pembentukan Amil Alkohol sebesar 60-70%.



**Gambar 1.5** Diagram Alir Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Klorinasi

### I.3 Kegunaan Amil Alkohol

Amil Alkohol banyak sekali di gunakan pada dunia industri, sehingga banyak pula kegunaan yang terdapat dalam bahan tersebut. Beberapa kegunaan pada Amil Alkohol:

1. Pelarut aktif beberapa resin sintesis  
Resin sintesis biasa digunakan untuk berbagai kebutuhan komersial, misalnya bahan pakaian, bahan bangunan, peralatan rumah tangga dan elektronik
2. Pelarut bahan *coating* dan tinta cetak (*printing ink*)  
Pelarut bahan *coating* dan tinta cetak (*printing ink*) merupakan pemakaian yang cukup besar dari senyawa Amil Alkohol



3. Amil Alkohol juga digunakan sebagai pelarut pada industri farmasi, kosmetik, cat, penambangan minyak, sebagai inhibitor dan pembuatan amil asetat.

## I.4 Sifat Fisika Dan Kimia

### I.4.1 Bahan Baku Utama

#### A. Pentana ( $C_5H_{12}$ )

##### \* Sifat Fisika :

- Wujud : Cairan tak berwarna
- Berat Molekul : 72,15 g/mol
- *Density* : 0,625 g/ml
- Bau : Menyengat
- *Gas Density* : 2,49 lb/ft<sup>3</sup>
- *Boiling point* : 36,1°C
- *Melting point* : -130°C
- *Critical Temperature* : 425,1 K
- *Critical Pressure* : 33,7 bar
- Kelarutan dalam air : 0,36 g/l
- Mudah larut dalam minyak

##### \* Sifat Kimia :

- Memiliki rumus kimia  $C_5H_{12}$
- Memiliki Rumus molekul  $CH_3(CH_2)_3CH_3$
- Reaktif dengan oksigen (mudah terbakar)
- Korosif terhadap plastik, karet dan coating
- Berbahaya untuk kesehatan (toksik)

(Sumber : MSDS Pentane)

#### B. Chlorine ( $Cl_2$ )

##### \* Sifat Fisika :

- Wujud : Gas
- Berat Molekul : 70,9 g/mol
- *Density* : 0,0032 g/ml
- *Gas Density* : 0,185 lb/ft<sup>3</sup>
- *Boiling point* : -34°C
- *Melting point* : -101°C





- *Critical Temperature* : 417 K
- *Critical Pressure* : 77,10 bar
- Kelarutan dalam air : 7,41 g/l

**\* Sifat Kimia :**

- Memiliki rumus kimia  $\text{Cl}_2$
- Senyawa halogen.
- Sangat mudah terbakar.
- Sedikit larut dalam air
- Mudah bereaksi dengan senyawa organik.

(Sumber : MSDS Chlorine)

## **I.4.2 Bahan Baku Pendukung**

### **A. Natrium Hidroksida (NaOH)**

**\* Sifat Fisika :**

- Wujud : Padatan
- Bentuk : Serpihan berwarna putih
- Berat Molekul : 40 g/mol
- *Density* : 2,13 g/ml
- Gas Density : 0,62 lb/ft<sup>3</sup>
- *Boiling point* : 1388°C
- *Melting point* : 318°C
- *Critical Pressure* : 17,535 mmHg
- Kelarutan dalam air : 111 g/l
- Mudah larut dalam air dan dalam etanol tetapi tidak larut dalam eter

**\* Sifat Kimia :**

- Memiliki Rumus kimia NaOH
- Sangat basa dan mudah terionisasi membentuk ion natrium dan hidroksida
- Keras, rapuh dan menunjukkan pecahan hablur
- Bila dibiarkan di udara akan cepat menyerap karbondioksida dan lembab
- NaOH membentuk basa kuat bila dilarutkan dalam air

(Sumber : MSDS Natrium Hidroksida)



---

**B. Asam Oleat****\* Sifat Fisika :**

- Wujud : Cair
- Warna : Tak berwarna hingga kuning
- Berat Molekul : 282,47 g/mol
- *Density* : 0,895 g/ml
- *Boiling point* : 286,1°C
- *Melting point* : 16,3°C
- *Vapor Density* : 9,7
- Kelarutan : Larut dalam metanol, kloroform, air dingin, aseton, dietil eter, dan pelarut organik.

**\* Sifat Kimia :**

- Memiliki Rumus kimia  $C_{18}H_{34}O_2$
- Bersifat *flammable* pada temperatur tinggi
- Bersifat non-korosif
- Berbahaya untuk kesehatan (bersifat toksik)
- Reaktif dengan bahan pengoksidasi

(Sumber : MSDS Oleat Acid)

**C. Asam Klorida****\* Sifat Fisika :**

- Wujud : Cair
- Warna : Tak berwarna
- Bau : Beraroma tajam
- Berat Molekul : 36,5 g/mol
- Specific gravity : 1,19 g/ml
- *Boiling point* : 50,5°C
- *Melting point* : -46,2°C (-51,2°F) to -25,4 C
- *Vapor Pressure* : 16 kPa @ 20°C
- *Vapor Density* : 1,267
- Kelarutan : Larut dalam air dingin, air panas, dan diethyl eter



**\* Sifat Kimia :**

- Memiliki Rumus kimia HCl
- *Non-flammable*
- Bersifat korosif terhadap aluminium, tembaga, *stainless steel*.
- Berbahaya untuk kesehatan (bersifat toksik)
- Reaktif dengan senyawa oksida, bahan organik, alkali dan air.

(Sumber : MSDS Hydrochloric Acid)

### 1.4.3 Produk Utama

#### Amil Alkohol ( $C_5H_{11}OH$ )

Produk utama yang dihasilkan dari pentana dan chlorine yaitu Amil Alkohol dengan proses klorinasi.

##### a. Sifat Fisika

**Tabel 1.7** Sifat Produk Utama Amil Alkohol

No	Parameter	<i>Amyl Alcohol</i>
1	<i>Melting Point</i> (°C)	-78,2
2	<i>Normal Boiling Point</i> (°C)	138,0
3	<i>Specific Gravity</i> (20/4°C)	0,8144
4	<i>Water Solubility</i> (g/100 ml)	2,7 (22°C)
5	<i>Solubility of water in wt%</i> (20°C)	-
6	<i>Refractive index</i> ( $n_D$ )	1,40999
7	<i>Viscosity at 25°C</i> (cP)	3,31
8	<i>Specific heat of liquid</i> (20°C, cal/g)	0,712
9	<i>Heat of vaporization</i> (bp, cal/g)	120,6
10	<i>Flash point</i> (ASTM Tag Open Cup) (°C)	51
11	<i>Weight per gallon</i> (20°C, lb)	6,79
13	Kelarutan	Larut dalam eter, susah larut dalam air

##### b. Sifat Kimia Amil Alkohol

- Memiliki rumus kimia  $C_5H_{11}OH$
- Cairan dan uap mudah terbakar
- Bersifat higroskopis (menyerap kelembapan)



- Bahaya dekomposisi menjadi karbon monoksida dan karbon dioksida
- Bahan kimia yang berbahaya dalam tingkat moderat saat dibakar atau dipanasi karena volatilitasnya yang rendah
- Stabil pada suhu kamar
- Penyimpanan pada wadah yang tertutup, jauhkan dari panas dan sumber api, simpan di tempat sejuk dan kering (berventilasi yang baik)
- Media pemadam kebakaran yaitu dengan bahan kimia kering (kebakaran kecil) dan busa alkohol, semprotan air atau kabut (kebakaran besar)
- *Non-compatible* dengan senyawa oksidator kuat, asam kuat dan basa kuat
- Berbahaya untuk kesehatan (bersifat toksik)

(Sumber : MSDS Amyl Alcohol)

#### 1.4.4 Produk Samping

##### A. Amil Klorida ( $C_5H_{11}Cl$ )

###### \* Sifat Fisika :

- Wujud : Cairan
- Berat Molekul : 106,6 g/mol
- *Density* : 0,866 g/ml
- Gas Density : 3,7 lb/ft<sup>3</sup>
- *Boiling point* : 85°C
- *Melting point* : -73°C
- *Critical Pressure* : 31,07 mmHg
- Mudah larut dalam alkohol dan eter namun tidak larut dalam air

###### \* Sifat Kimia :

- Memiliki Rumus kimia  $C_5H_{11}Cl$
- Cairan yang mudah terbakar
- Dapat menyebabkan iritasi
- Tidak larut dalam air

(Sumber : MSDS Amyl Chlorida)



## B. Amilen

### \* Sifat Fisika :

- Wujud : Cair
- Warna : Tak berwarna
- Berat Molekul : 70,13 g/mol
- Spesific gravity : 0,853 g/ml
- *Boiling point* : 37°C
- *Flash point* : -44°C
- *Vapor Pressure* : 60,8 mmHg
- Kelarutan : Larut dalam metanol, kloroform, air dingin, aseton, dietil eter, dan pelarut organik.

### \* Sifat Kimia :

- Memiliki Rumus kimia  $C_5H_{10}$
- Bersifat *stabil* pada temperatur dan tekanan dibawah normal (hindari temperatur tinggi)
- Bersifat non-korosif
- Berbahaya untuk kesehatan (bersifat toksik)
- Reaktif dengan bahan pengoksidasi
- Dapat terdekomposisi menjadi CO dan  $CO_2$

(Sumber : MSDS Amylene)

## C. Amylene Dichloride

### \* Sifat Fisika :

- Wujud : Cair
- Warna : Tak berwarna
- Berat Molekul : 141,04 g/mol
- Density : 1,0696 g/ml
- *Boiling point* : 138°C
- *Flash point* : 29,5°C
- *Melting point* : -72°C
- *Vapor Density* : 4,86

**\* Sifat Kimia :**

- Memiliki Rumus kimia  $C_5H_{10}Cl_2$
- Bersifat *stabil* pada temperatur dan tekanan dibawah normal (hindari temperatur tinggi)
- *Flammable liquid and vapor*
- Berbahaya untuk kesehatan (bersifat toksik)
- Reaktif dengan bahan oksidator kuat dan basa kuat
- Dapat terdekomposisi menjadi gas HCl, CO dan  $CO_2$

(Sumber : MSDS Amylene Dichloride)

**D. Natrium Chloride****\* Sifat Fisika :**

- Wujud : Padatan
- Warna : Putih
- Berat Molekul : 58,5 g/mol
- Density : 2,165 g/ml
- *Boiling point* : 1461C @ 760 mmHg
- *Melting point* : 801°C
- *Vapor Pressure* : 1 mmHg @ 865°C
- *Solubility in water* : 360 g/l (20°C)

**\* Sifat Kimia :**

- Memiliki Rumus kimia NaCl
- Bersifat hirgroskopis
- Hindari kondisi pada suhu tinggi, *incompatible material*, dan kondisi lembab
- Reaktif dengan bahan logam, oksidator kuat, asam kuat
- Dapat terdekomposisi menjadi *hydrogen chloride* dan *sodium oxide*

(Sumber : MSDS Natrium Chloride)

## **BAB II**

### **MACAM DAN URAIAN PROSES**

#### **II.1 Macam Proses**

Menurut Kirk and Othmer (1978) amil alkohol ( $C_5H_{11}OH$ ) pada suhu kamar merupakan cairan yang tidak berwarna, sukar larut dalam air, namun larut dalam eter pada semua perbandingan. Menurut McKetta (1992) Amil alkohol merupakan bahan kimia yang berbahaya dalam tingkat moderat saat dibakar atau dipanasi karena volatilitasnya yang rendah dan massa jenis uapnya yang tinggi.

Proses produksi amil alkohol dapat dilakukan dengan beberapa cara. Secara komersial, proses yang biasa digunakan dapat berupa fraksinasi dari minyak *fusel*, proses oxo alkohol, dan proses klorinasi (*Kirk dan Othmer, 1978*).

##### **II.1.1 Proses Fusel Oil**

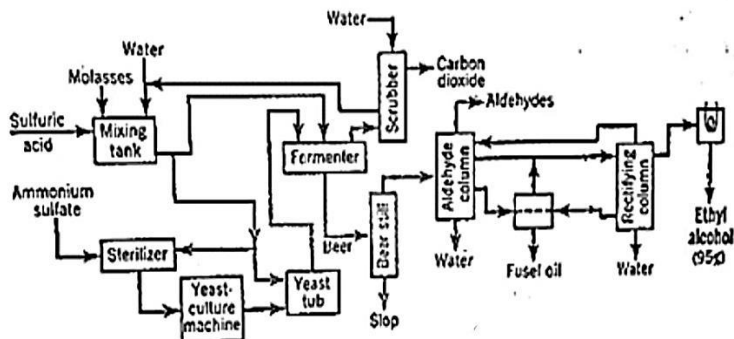
Amil alkohol pertama kali dikembangkan oleh Sharples dan Rennsasl sebelum tahun 1920. Pada tahun itu, satu-satunya sumber ekonomis amil alkohol adalah Fusel Oil. Fusel Oil diperoleh sebagai hasil samping pada fermentasi karbohidrat untuk menghasilkan alkohol. Komposisi minyak fusel bervariasi, tergantung pada bahan baku fermentasi, tetapi sebagian besar terdiri dari isoamil alkohol dan amil alkohol, isobutil alkohol 20%, n propil alkohol (3-5%) dan sejumlah kecil alkohol lainnya seperti ester dan aldehyd. minyak di proses secara kimia dan dimurnikan dengan distilasi. Hasil olahan amil alkohol dari minyak fusel mengandung sekitar 85% isoamil dan 15% amil alkohol. Pada proses ini Amil Alkohol merupakan produk samping dari etanol (*Ethyl Alcohol*).

Etanol ini diproses dari gula yang telah di fermentasi, dan bahan baku Etanol adalah *Molasses* (Tetes). Tetes masuk ke *mixing tank* yang dicampurkan dengan air panas untuk mendapatkan konsentrasi gula 10-15%. Pada proses ini ditambahkan Asam Sulfat untuk menurunkan pH dari 5,3 ke 4-



5. Disamping itu ditambahkan Ammonium Sulfat untuk mempertahankan pH tersebut dengan di sterilisasi kemudian masuk ke mesin ragi hingga mendapatkan ragi yang diharapkan sesuai standar. Setelah mengalami pencampuran pada *mixing tank* selanjutnya masuk ke fermenter untuk di fermentasi dengan penambahan ragi tersebut dimana tangki fermenter dijaga pada temperatur 70-88°F (21-31°C). Pada proses fermentasi ini membutuhkan waktu 28-72 jam untuk mendapatkan alkohol dengan konsentrasi 8-10%. Setelah proses fermentasi selesai, menghasilkan alkohol dan CO<sub>2</sub>. Untuk CO<sub>2</sub> masuk ke *scrubber* dan alkohol masuk ke *Beer Still* untuk membuang slop (air kotor) melalui *Heat Exchanger*. Selanjutnya masuk ke *Aldehyde Column* yang nantinya masuk ke *rectifying column*, sehingga menghasilkan produk Etanol (Ethyl Alcohol). Namun yang masih mengandung Aldehyde pada *rectifying column* akan kembali ke *Aldehyde Column*. Etanol mempunyai produk samping dari *rectifying column* yaitu *Fusel Oil*, dimana komponen yang terkandung dalam *fusel oil* adalah 85% isoamil dan 15% amil alkohol yang nantinya akan dipisahkan menggunakan proses fraksinasi.

### From Sugar by Fermentation

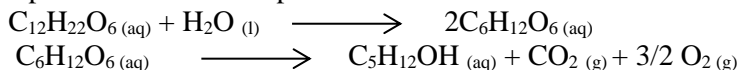


**Gambar II.1** Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Fusel Oil





Pada proses **Gambar II.1** pada amil alkohol terbentuk reaksi:

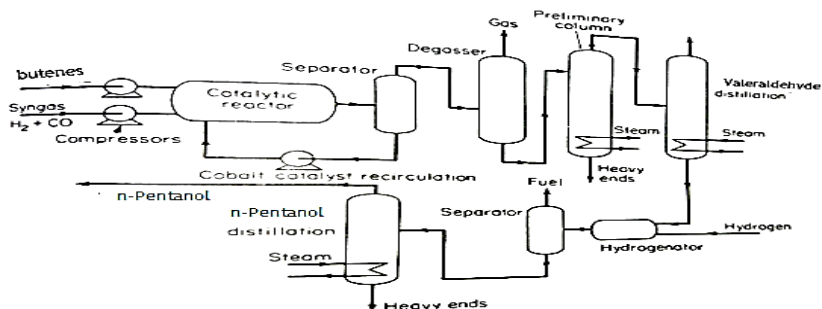


Keuntungan proses ini adalah bahan baku relatif murah, lahan yang dibutuhkan relatif kecil, dan prosesnya sederhana. Namun, karena komposisi minyak *fusel* sangat bergantung pada bahan baku, kondisi operasi fermentasi, dan proses pemurnian alkohol, maka sulit untuk menjaga konsistensi produk yang dihasilkan. Selain itu, amil alkohol yang dihasilkan melalui proses ini kemurniannya sangat sangat rendah. Sehingga dari kekurangan ini ada beberapa proses pembaruan yaitu proses oxo.

### II.1.2 Proses Sintesis Oxo

Pembuatan amil alkohol dengan menggunakan proses oxo diperdagangkan mulai tahun 1953. Pada awal permulaan, amil alkohol tersedia dalam jumlah jumlah yang besar yang didapatkan dari proses oxo, yang mengoperasikan campuran bahan olefin, reaksi olefin dengan gas CO dan H<sub>2</sub> pada tekanan tinggi dengan adanya katalis kobalt. Proses oxo adalah salah satu prinsip yang dilakukan untuk pembuatan amil alkohol sampai sekarang, hanya berjumlah sedikit terutama di Eropa.

Proses terpenting dalam produksi amil alkohol adalah hidroformilasi (proses oxo) butana. Proses oxo dimulai dari pembuatan aldehid dengan cara mereaksikan olefin dengan karbon monoksida dan hidrogen dengan katalis kobalt atau rhodium untuk membentuk campuran isomer dari aldehid dengan lebih dari 1 rantai atom karbon dari olefin. Sekali dibuat didapatkan 1-pentaldehide (n-valeraldehyde), 2 methylbutyraldehyde dan 3- methylbutyraldehyde (isovaleraldehyde) adalah hasil dari proses hidrogenasi untuk menjadi amil alkohol.



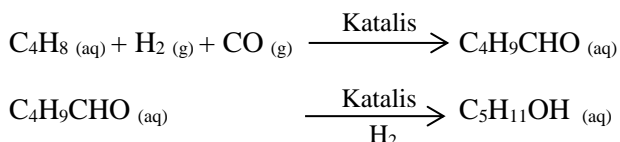
**Gambar II.2** Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Oxo

Sebelum tahun 1975, reaksi campuran butana dengan sintetik gas ( $H_2$  dan  $CO_2$ ) memerlukan suhu yang tinggi ( $160 - 180^\circ C$ ) dan tekanan tinggi  $20-40$  Mpa ( $3000-6000$  psi), dengan adanya kehadiran katalis kobalt untuk memproduksi n-valeraldehyde dan 2-methylbutyraldehyde. Proses dasar dari hidroformilasi yaitu  $C_4$ -olefin menjadi  $C_5$  aldehyde, pemindahan katalis kobalt dari reaksi campuran yang homogen, katalis mendaur ulang untuk bisa digunakan kembali, hidrogenasi dari aldehyd ke amil alkohol.

Dalam proses Oxo, olefin (*butylenes*) direaksikan di reaktor dengan mencampurkan sintetik gas  $CO$  dan  $H_2$  dengan perbandingan  $1:2$  dan dilakukan dalam tekanan tinggi  $1500-1600$  psi dan dalam suhu  $100 - 200^\circ C$  dengan adanya bantuan dari katalis kobalt. Kemudian masuk ke dalam separator untuk memproduksi liquid aldehyd yang diinginkan dalam jumlah lebih besar. Setelah itu dialirkan menuju ke *catalyst removal* yang berfungsi untuk menghilangkan cobalt hasil sisa reaksi pencampuran sebelumnya di dalam reaktor. Katalis kobalt sisa dari proses *catalyst removal* di recovery kembali dalam *catalyst recovery* dengan suhu  $150-300^\circ C$  dan tekanan  $500-2000$  psi. Setelah katalis cobalt terseleksi maka proses



selanjutnya dialirkan menuju unit hydrogenation yang beroperasi dalam suhu 50-250 °C dan tekanan 50-3500 psi, dalam unit hydrogenation dihirup gas hidrogen untuk pembentukan reaksi selanjutnya dalam pembuatan Amil Alkohol. Setelah dari unit hydrogenation dialirkan menuju separator kolom distilasi untuk didapatkan produk Amil Alkohol dengan kemurnian yang diinginkan. Kemurnian atau yield yang didapatkan untuk pembuatan Amil Alkohol dengan menggunakan proses oxo yaitu 60%. Reaksi dalam proses oxo (hidroformilasi) adalah sebagai berikut :



Namun setelah diperdagangkan amil alkohol dengan proses oxo pada tahun 1975, dalam kenyataan pada proses tidak didapatkan amil alkohol karena reaksi hidroformilasi tergolong tingkat yang rendah sehingga menyebabkan kekurangan senyawa butana. Maka dari itu dilakukan pengembangan yang lebih baru pada katalis untuk proses oxo dapat dijalankan dalam tekanan rendah dengan proses teknologi yang dapat banyak memproduksi dengan biaya rendah untuk produk n-valeraldehyde dan 2-methylbutyraldehyde, dan isovaleraldehyde dan alkohol lainnya yang didapatkan dalam bentuk murni. Dalam proses hidroformilasi yang menggunakan katalis kobalt menghasilkan campuran dengan yield 60% 1- pentanol dan 40% 2-methyl -1-butanol. Jika dengan menggunakan katalis rhodium didapatkan campuran dengan yield 90% pentanol dan 10% 2-methyl-1 butanol.

(Kirk dan Othmer, 1978).

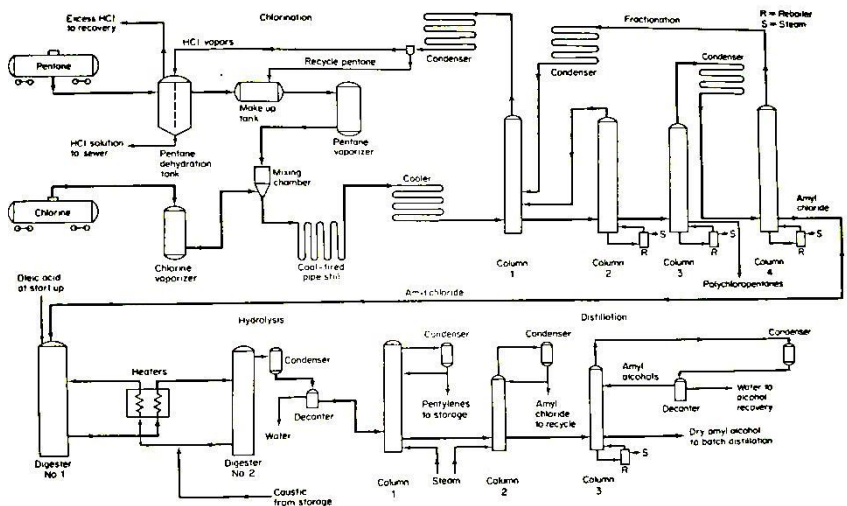
Katalis yang umumnya digunakan pada proses oxo adalah Ni, Co, Cu-ZnO dengan penyangga alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Konversi butena pada proses ini dapat mencapai 95%. Namun selisih



harga bahan baku dengan produk yang dihasilkan tidak terlampau jauh, sehingga prospek keuntungan di masa akan datang dianggap kurang menjanjikan. Pada proses ini, digunakan suhu dan tekanan tinggi serta reaktan yang sifatnya korosif. Hal ini menyebabkan proses ini membutuhkan spesifikasi alat yang lebih tinggi secara kualitatif dan biaya lebih mahal (Mc. Ketta, 1992).

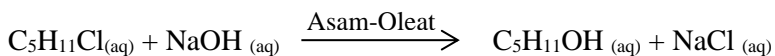
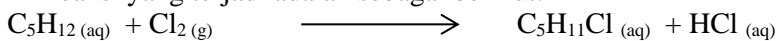
### II.1.3 Proses Klorinasi

Produksi sintetis pertama amil alkohol dimulai pada tahun 1920 oleh proses klorinasi-hidrolisis.



**Gambar II.3** Pembuatan Amil Alkohol dengan Proses Klorinasi

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:





Dalam klorinasi Pentana, pentana dikeringkan menggunakan uap HCl dan dicampur dengan klorin dalam rasio 15: 1. Gas memasuki *furnace* pada 120°C, kemudian bereaksi dan keluar pada 260°C. Setelah itu didinginkan kemudian difraksinasi, untuk pentana yang tidak bereaksi didaur ulang, hal ini penting untuk mengontrol konsentrasi klorin guna menghindari produksi produk yang tidak diinginkan seperti di-chloropentane, kemudian di destilasi sehingga menghasilkan amil klorida. Amil Klorida yang selanjutnya dikirim ke digester dengan NaOH yang dikaltalis oleh *Oleate Acid* digunakan untuk membantu agar reaksi berjalan baik serta reaksi bersifat eksotermis. Selain reaksi utama, terjadi reaksi samping berupa pembentukan amilene ( $C_5H_{10}$ ). Dari digester, setelah melewati kondensor dan pemisah campuran dikirim ke kolom distilasi di mana dari hasil distilasi mendapatkan yield 70-90% amil alkohol.

## II.2 Seleksi Proses

**Tabel II.1** Perbandingan Macam-macam Proses Pembuatan Amil Alkohol

Tinjauan	Macam proses		
	<i>Fusel Oil Process</i>	<i>Oxo Process</i>	<i>Chlorination Process</i>
<b>Temperature</b>	20-35 °C	100-300 °C	120-260 °C
<b>Tekanan</b>	1 atm	100-200 atm	1 – 14 atm
<b>Bahan Baku</b>	Karbohidrat dan bakteri (Fermentasi), bahan mudah	Butana, hidrogen dan karbon monoksida (didapatkan	- Pentana didapatkan dengan impor dari luar

*BAB II Macam dan Uraian Proses*

	didapatkan	dengan impor dari luar negeri)	negeri - Klorin, NaOH dan HCl dapat disuplai dari industri produsen bahan kimia di Indonesia
<b>Yield</b>	15 %	50 %	60 %
<b>Sifat</b>	Non korosif	Korosif	Tingkat Korosifitas rendah
<b>Biaya</b>	Biaya produksi relatif murah (prospek keuntungan cukup )	Biaya produksi cukup mahal dan (prospek keuntungan kecil)	Biaya produksi relatif (prospek keuntungan besar )

Pada pendirian pabrik Amil Alkohol dari pentana dan klorin ini dipilih dengan Proses Klorinasi dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Kemurnian Amil alkohol yang dihasilkan cukup tinggi
2. Biaya produktif relatif murah maka dapat memberikan prospek keuntungan yang besar
3. Sifat dari proses klorinasi yang memiliki tingkat korosifitas yang rendah sehingga tidak memerlukan biaya yang mahal untuk perawatan alat-alat industri
4. Proses klorinasi berlangsung dalam operasi temperatur dan tekanan yang cukup dan tidak terlalu tinggi.



### II.3 Uraian Proses Terpilih

Proses produksi Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin ini dengan proses Klorinasi dibagi menjadi dua tahapan, yaitu:

1. Tahap Pembuatan Amil Klorida dari Pentana dan Klorin dengan proses Klorinasi

Pentana di pompa dari tangki penyimpanan yang mengandung 100% Pentana. Pentana dilanjutkan ke *make up tank* tujuannya yaitu ditambahkan *recycle* Pentana untuk mengurangi bahan baku atau kebutuhan Pentana. Selanjutnya di pompa ke *Pentana Vaporizer* untuk mengubah *liquid* menjadi gas. Dari *Pentana Vaporizer* kemudian masuk ke *mixing chamber* untuk melakukan pencampuran dengan gas klorin. Klorin cair dari tangki penyimpanan di pompa ke *Chlorine Vaporizer* untuk dipanaskan menjadi gas yang kemudian di pompa ke *mixing chamber*.

Reaksi pencampuran Pentana dan Klorin :



Setelah tercampur antara Pentana dan Klorin, kemudian segera dibawa ke kompresor untuk menaikkan tekanan hingga 5,5 atm dan kemudian di heater untuk persiapan masuk ke reaktor. Di reaktor terbentuk reaksi dari pentana dan klorin menjadi amil khloride dan asam klorida. Terdapat pula produk sampingnya yaitu amil dikhloride. Setelah dari reaktor kemudian di cooler untuk persiapan masuk ke flash tank dan selanjutnya masuk ke kolom amil khloride untuk memisahkan pentana dan asam klorida sebagai top produk, dan amil kloride serta amilen dikhloride sebagai bottom produk. Pentana dan HCl kemudian di *recycle* ke *make up tank* dan untuk amil khloride serta amil dikhlorid masuk ke kolom amilen dikhloride. Untuk top produk yaitu amil khloride dan bottom adalah amilen dikhloride. Untuk amilen dikhloride akan di simpan di tangki penyimpanan dan amil khloride di gunakan untuk proses selanjutnya yaitu proses hidrolisis.



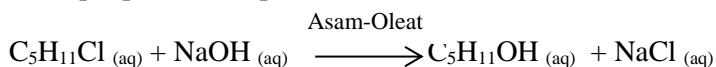
## 2. Tahap Pembuatan Amil Alkohol dari Amil Klorida dan Natrium Hidroksida dengan Proses Hidrolisis

Dalam pembuatan alkohol terdapat beberapa reaksi yang lazim digunakan untuk mensintesis alkohol, diantaranya yaitu dalam pembuatan amil alkohol dengan menggunakan reaksi substitusi nukleofilik. Dimana reaksi substitusi nukleofilik merupakan reaksi antara suatu alkil halida dan ion hidroksida. Bila alkil halida primer direaksikan dengan Natrium hidroksida dalam air maka akan terjadi reaksi pembentukan alkohol primer. Dengan reaksi substitusi nukleofilik ini dapat diperoleh alkohol primer dengan rendemen baik oleh teknik ini. Karena alkil halida sekunder dan tersier mungkin juga menghasilkan produk-produk eliminasi, maka halida ini umumnya tidak berguna untuk mensintesis alkohol.

(Fessenden, 3<sup>th</sup> edition)



Dari kolom tersebut dihasilkan Amil Klorida dialirkan menuju reaktor yang dilakukan penambahan larutan Natrium Hidroksida dan katalis Asam Oleat sebesar 0,65%. Didalam reaktor terjadi pencampuran antara amil khloride dan penambahan natrium hidroksida sehingga menjadi amil alkohol dan Natrium khloride, dan terdapat produk samping yaitu amilen dan air.



Setelah dari reaktor masuk ke dekanter untuk memisahkan pentana, Amil khloride, Amil Alkohol, Amilen, amil dikhloide dengan air, asam khlorida, NaOH dan NaCl yang akan di simpan di tangki penyimpanan. Untuk pentana, Amil khloride, Amil Alkohol, Amilen, amil dikhloide masuk ke kolom amil alkohol sebagai produk akhir dengan kemurnian 99%.



### BAB III NERACA MASSA

Kapasitas : 7.500 ton amil alkohol/tahun  
                   : 22,727 ton amil alkohol/hari  
                   : 22.727 kg amil alkohol/hari  
 Operasi : 330 hari/tahun, 24 jam/hari  
 Satuan massa : kg  
 Basis waktu : 1 hari

Untuk kapasitas 22,727 ton amil alkohol/hari, dibutuhkan bahan baku amil alkohol ( $C_5H_{12}$ ) sebanyak 20.329 kg pentana/hari dan klorin ( $Cl_2$ ) sebanyak 20.197 kg klorin/hari dengan data komposisi sebagai berikut :

**Tabel III.1** Komposisi Bahan Baku

No	Komponen	Bahan Baku (kg)
1	$C_5H_{12}$	20.329
2	$Cl_2$	20.197
	Total	40.527

#### **I. Tahap *Pre-Treatment***

##### **I.1 *Make Up Tank***

**Tabel III.2** Komposisi Make Up Tank

Aliran Masuk			Aliran Keluar		
Komponen	Massa (Kg)	Massa (Kmol)	Komponen	Massa (Kg)	Massa (Kmol)
<Aliran 1>			<Aliran 5>		
$C_5H_{12}$	20329,285	281,768	$C_5H_{12}$	21595,06	299,313
<Recycle dari Aliran 12>					
$C_5H_{12}$	1265,783	17,544			
<b>TOTAL</b>	<b>21595,069</b>	<b>299,313</b>	<b>Total</b>	<b>21595,069</b>	<b>299,313</b>



## II. Tahap Pemurnian

### II.1 Reaktor

Tabel III.3 Neraca massa komponen reaktor

Komp.	Aliran Masuk			Aliran Keluar		
	kmol	Fraksi massa	kg	kmol	Fraksi massa	kg
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	299,31	0,517	21595	17,687	0,031	1276,1
HCL	0	0	0	284,47	0,249	10385,4
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0	0	0	278,78	0,711	29729,4
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0	0	0	2,845	0,010	401,48
Cl <sub>2</sub>	284,47	0,483	20197,4	0	0	0
<b>Total</b>	<b>583,78</b>	<b>1</b>	<b>41792,4</b>	<b>583,78</b>	<b>1,000</b>	<b>41792,4</b>

### II.2 Flash Tank

Tabel III.4 Neraca massa Flash Tank

Komponen	Masuk	Keluar	
	<5>	<6>	<7>
	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1276,109	243,635	1032,474
HCl	10385,434	9632,123	753,311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	29729,454	545,278	29184,176
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	401,482	2,196	399,285
<b>TOTAL</b>	<b>41792,478</b>	<b>10423,231</b>	<b>31369,247</b>

### II.3 Kolom Destilasi Amil Khlride (D-220)

Tabel III.5 Neraca massa D-230

Komponen	Masuk		Keluar			
	<7>		<8>		<13>	
	X <sub>7</sub>	M <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	M <sub>8</sub>	X <sub>13</sub>	M <sub>13</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,033	1032,474	0,494	1022,149	0	10,325
HCl	0,024	753,311	0,364	753,311	0	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,930	29184,176	0,141	291,842	0,986	28892,335
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,013	399,285	0	0,016	0,014	399,269



<b>TOTAL</b>	1,000	31369,247	1	2067,318	1	29301,929
	<b>31369,247</b>		<b>31369,247</b>			

## II.4 Kondensor

**Tabel III.6** Neraca massa (kg)

Komponen	Masuk	Keluar	
	<8>	<9>	<10>
	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	2601,454	1579,304	1022,149
HCl	1917,238	1163,927	753,311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	742,761	450,919	291,842
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,041	0,025	0,016
<b>TOTAL</b>	5261,493	3194,175	2067,318
	<b>5261,493</b>	<b>5261,493</b>	

## II.5 Reboiler

**Tabel III.7** Neraca massa (kg) E-226

Komponen	Masuk	Keluar	
	<13>	<14>	<15>
	M <sub>13</sub>	M <sub>14</sub>	M <sub>15</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	12,179	1,854	10,325
HCl	0,0000012	0,000	0,000001
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	34080,281	5187,946	28892,335
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	470,963	71,693	399,269
<b>TOTAL</b>	34563,422	5261,493	29301,929
	<b>34563,422</b>	<b>34563,422</b>	



## II.6 Kolom Destilasi Amilen Dikloride (D-230)

Tabel III.8 Neraca massa D-230

Komponen	Masuk		Keluar			
	<15>		<16>		<19>	
	$X_{15}$	$M_{15}$	$X_{16}$	$M_{16}$	$X_{19}$	$M_{19}$
$C_5H_{12}$	0,00035	10,325	0,00036	10,3	$2,93 \cdot 10^{-08}$	$2,008 \cdot 10^{-05}$
HCl	$3,6 \cdot 10^{-11}$	$1,05 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-11}$	$1,05 \cdot 10^{-06}$	$1,16 \cdot 10^{-25}$	$7,94 \cdot 10^{-23}$
$C_5H_{11}Cl$	0,986	28892,335	0,999	28603,41	0,422	288,923
$C_5H_{10}Cl_2$	0,014	399,269	0,000139	3,993	0,578	395,277
TOTAL	1	29301,929	1	28617,73	1	684,2
	29301,929		29301,929			

## II.7 Kondensor

Tabel III.9 Neraca massa (Kg) E-242

Komponen	Masuk	Keluar	
	<16>	<17>	<18>
	$M_{16}$	$M_{17}$	$M_{18}$
$C_5H_{12}$ (LK)	18,264	7,939	10,325
HCl	0,000	$8,114 \cdot 10^{-07}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$
$C_5H_{11}Cl$ (HK)	50597,967	21994,555	28603,411
$C_5H_{10}Cl_2$	7,063	3,070	3,993
TOTAL	50623,293	22005,565	28617,729
	50623,293	50623,293	



## II.8 Reboiler

**Tabel III.10** Neraca massa E-234

Komponen	Masuk	Keluar	
	<20>	<21>	<22>
	M <sub>20</sub>	M <sub>21</sub>	M <sub>22</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	0,002	0,001	7,94187E-23
HCl	6,03495 .10 <sup>-21</sup>	5,87611 .10 <sup>-21</sup>	288,923
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	21955,002	21377,155	395,277
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	30036,690	29246,137	684,2
TOTAL	51991,694	50623,293	1368,4
	<b>51991,694</b>	<b>51991,694</b>	

## III. Tahap Hidrolisis

### III.1 Reaktor

**Tabel III.11** Neraca massa komponen reaktor

Komponen	Masuk	Keluar
	<18>	<25>
	Kg	Kg
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	10,325	10,325
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> CL	28603,411	62,611
NaOH	10704,627	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	0	22883,775
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0	563,100
H <sub>2</sub> O	12085,523	12230,169
HCL	1,0553 .10 <sup>-06</sup>	1,0553 . 10 <sup>-06</sup>
NaCl	0	15653,906
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> CL <sub>2</sub>	3,993	3,993
TOTAL	51407,879	51407,879

**III.2 Dekanter (H-323)****Tabel III.12** Neraca Massa Dekanter (H-323)

Komponen	Masuk		Komponen	Keluar	
	Kmol	Kg		Kmol	Kg
Aliran <25>			Aliran <37>		
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,143	10,325	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,00043	10,325
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,587	62,611	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,003	62,611
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	259,606	22883,775	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	0,973	22883,7
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	8,029	563,100	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0,024	563,1
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,028	3,993	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,000169	3,993
H <sub>2</sub> O	678,878	12230,169	Aliran <26>		
HCl	1,055 . 10 <sup>-6</sup>	2,89 . 10 <sup>-8</sup>	H <sub>2</sub> O	679,4	12240,87
NaOH	0	0	HCl	2,89.10 <sup>-8</sup>	1,05.10 <sup>-6</sup>
NaCl	267,635	15653,906	NaOH	0	0
			NaCl	267,635	15653,9
<b>Total</b>	1214,906	51407,879	<b>Total</b>	1215,49	51418,58

**III.3 Kolom Destilasi Amil Alkohol (D-320)****Tabel III.13** Neraca massa D-320

Komponen	Masuk		Keluar			
	<26>		<28>		<31>	
	X <sub>34</sub>	M <sub>34</sub>	X <sub>35</sub>	M <sub>35</sub>	X <sub>36</sub>	M <sub>36</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0004	10,325	0,013	10,186	6,1.10 <sup>-06</sup>	0,139
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> (LK)	0,024	563,100	0,7	557,469	0,0002	5,631
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,003	62,611	0	0	0,003	62,611
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,00016	3,993	3,3.10 <sup>-05</sup>	0,026	0,00017	3,966
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH (HK)	0,973	22883,775	0,287	228,838	0,997	22654,937
<b>TOTAL</b>	1	23523,804	1	796,519	1	22727,285
	<b>23523,804</b>		<b>23523,804</b>			



### III.4 Kondensor

**Tabel III.14** Neraca massa E-324

Komponen	Masuk	Keluar	
	<34>	<35>	<36>
	$M_{34}$	$M_{35}$	$M_{36}$
$C_5H_{12}$	27,991	17,666	10,325
$C_5H_{10}$ (LK)	1511,311	953,842	557,469
$C_5H_{11}Cl$	0,000	0,000	0,000
$C_5H_{10}Cl_2$	0,000	0,000	0,000
$C_5H_{11}OH$ (HK)	620,384	391,546	228,838
<b>TOTAL</b>	<b>2159,685</b>	<b>1363,054</b>	<b>796,632</b>
	<b>2159,685</b>	<b>2159,685</b>	

### III.5 Reboiler

**Tabel III.15** Neraca massa E-326

Komponen	Masuk	Keluar	
	<31>	<32>	<33>
	$M_{31}$	$M_{32}$	$M_{33}$
$C_5H_{12}$	0,152	0,013	0,139
$C_5H_{10}$ (LK)	6,166	0,535	5,631
$C_5H_{11}Cl$	68,561	5,950	62,611
$C_5H_{10}Cl_2$	4,343	0,377	3,966
$C_5H_{11}OH$ (HK)	24807,748	2152,810	22654,937
<b>TOTAL</b>	<b>24886,970</b>	<b>2159,685</b>	<b>22727</b>
	<b>24886,970</b>	<b>24886,970</b>	

## BAB IV NERACA ENERGI

Kapasitas	=	7.500 ton/tahun
	=	22.727 kg/hari
Basis waktu	=	1 hari
Suhu referensi	=	25 <sup>0</sup> C
Satuan panas	=	Kkal/jam

### 1. Pentana (V-110)

Fungsi : mengubah fase pentana liquid menjadi uap

**Tabel IV.1** Neraca Energi Pentana Vaporizer

Masuk		Keluar	
(kkal)		(kkal)	
$\Delta H_c$	120546	$\Delta H_d$	2175712
$Q_{supply}$	2163333.498	$Q_{loss}$	108166.6749
<b>Total</b>	<b>2283879</b>	<b>Total</b>	<b>2283879</b>

### 2. Klorin Vaporizer (V-120)

Fungsi : mengubah fase klorin liquid menjadi uap

**Tabel IV.2** Neraca Energi Klorin Vaporizer

Masuk		Keluar	
(kkal)		(kkal)	
$\Delta H_c$	42886	$\Delta H_d$	1081899
$Q_{supply}$	1093698	$Q_{loss}$	54684.9039
<b>Total</b>	<b>1136584</b>	<b>Total</b>	<b>1136584</b>





### 3. Heater (E-213)

Fungsi : Memanaskan Pentana dan Klorin

**Tabel IV.3** Neraca Energi Heater

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_f$	798834.86	$\Delta H_g$	3232541.907
Qsupply	2561796.89	Qloss	128089.8446
<b>Total</b>	<b>3360631.75</b>	<b>Total</b>	<b>3360631.75</b>

### 4. Reaktor (R-210)

Fungsi : Tempat mereaksikan pentana dan klorin menjadi amil kloride

**Tabel IV.4** Neraca Energi Reaktor

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_j$	3232541.91	$\Delta H_k$	39249.77197
		$\Delta H_{rx\ 25}$	-5887909.09
		Qserap	9081201.226
<b>Total</b>	<b>3232542</b>	<b>Total</b>	<b>3232542</b>

### 5. Waste Heat Boiler (E-221)

**Tabel IV.5** Neraca Energi Waste Heat Boiler

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
$\Delta H_i$	4726087.38	$\Delta H_j$	378525.36
		Qserap	4347562
<b>Total</b>	<b>4726087.38</b>	<b>Total</b>	<b>4726087.38</b>



### 6. Kolom Distilasi Amil Kloride (D-230)

fungsi : memisahkan pentana dan asam klorida

**Tabel IV.6** Neraca Energi Kolom Amil Kloride

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_u$	276398.1377	$\Delta H_v$	74653.62609
$Q_r$	143284.5878	$\Delta H_w$	142581.5388
		$Q_c$	195283.33
		$Q_{loss}$	7164.229388
<b>Total</b>	<b>419682.7254</b>	<b>Total</b>	<b>419682.7254</b>

### 7. Kolom Distilasi Amil Diklorid (D-240)

fungsi : untuk memisahkan amil diklorid

**Tabel IV.7** Neraca Energi Kolom Amil Dikloride

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_u$	1861107.4	$\Delta H_v$	1827364.58
$Q_r$	2622193.505	$\Delta H_w$	74801.40643
		$Q_c$	2450025.24
		$Q_{loss}$	131109.6753
<b>Total</b>	<b>4483300.906</b>	<b>Total</b>	<b>4483300.906</b>

### 8. Cooler (E-315)

**IV.8** Neraca Energi Cooler

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_i$	2543067.77	$\Delta H_j$	1636878.77
		$Q_{serap}$	906189.005
<b>Total</b>	<b>2543067.77</b>	<b>Total</b>	<b>2543067.77</b>

**9. Reaktor (310)**

Fungsi : Tempat mereaksikan amil klorid dan naoh menjadi amil alkohol dan amilen

**Tabel IV.9** Neraca Energi Reaktor

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_j$	1636878.77	$\Delta H_k$	557723.406
		$\Delta H_{rx}$ 25	-8774788.3
		Qserap	9853943.62
<b>Total</b>	<b>1636879</b>	<b>Total</b>	<b>1636879</b>

**10. Heater (E-321)****Tabel IV.10** Neraca Energi Heater

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_f$	557723.4061	$\Delta H_g$	855190.29
Qsupply	313123.0377	Qloss	15656.152
<b>Total</b>	<b>870846.44</b>	<b>Total</b>	<b>870846.44</b>

**11. Kolom Distilasi Amil Alkohol (D-320)**

fungsi : memisahkan amil alkohol dgn amil klorid

**Tabel IV.11** Neraca Energi Kolom Amil Alkohol

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_u$	358687.33	$\Delta H_v$	26715.1
Qr	1390868.4	$\Delta H_w$	1584349
		Qc	68948.2
		Qloss	69543.4
<b>Total</b>	<b>1749556</b>	<b>Total</b>	<b>1749556</b>

## BAB V SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas : 7.500 ton amil alkohol/tahun  
               : 22,727 ton amil alkohol/hari  
               : 22.727 kg amil alkohol/hari  
 Operasi : 330 hari/tahun, 24 jam/hari  
 Satuan Massa : kg  
 Satuan Panas : Kilokalori  
 Basis Waktu : 1 hari

### 1. Tangki Penyimpanan Pentana (F-111)

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= F-111
Fungsi	= Menyimpan Umpan Pentana
Tipe Tangki	= <i>Cylindrical - Torispherical Roof - Torispherical Bottom Tank</i>
Bahan Konstruksi	= Carbon Steel SA-283 Grade C
Tekana Operasi	= 10 atm
Tekanan Desain	= 11 atm
Kapasitas Tangki	= 232,63 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	= 25,48 ft
Diameter Tangki	
Diameter dalam	= 17,36 ft
Diameter luar	= 17,7 ft
Tebal <i>Shell</i>	= 1,67 in
Tinggi <i>Shell</i>	= 4,06 ft
Tebal <i>Head</i> Tangki	= 2,08 in

**2. Pompa (L-112)**

<b>Spesifikasi</b>	<b>Keterangan</b>	
Kode Alat	=	L-112
Fungsi	=	Mengalirkan bahan baku pentana dan recycle pentana ke vaporizer
Tipe Pompa	=	<i>Centrifugal Pump</i>
Kapasitas Pompa	=	0,03 cuft/s
Total Head	=	60,10 ft.lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub>
Power Pompa	=	0,602076562 hp
Ukuran Pipa		
D Nominal	=	1,5 in
ID	=	1,61 in
OD	=	1,9 in
Schedule No.	=	40
Bahan	=	<i>Commercial Steel</i>
Power Motor	=	0,762122231 hp

**3. Vaporizer Pentana (V-110)**

<b>Spesifikasi</b>	<b>Keterangan</b>
Fungsi	: Merubah fase pentana liquida menjadi uap
Jenis	: <i>Shell and tube</i> (1-2 HE)
Jumlah	: 1
Bahan Konstruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas area	: 1639 ft <sup>2</sup>
Temperatur	
T <sub>1</sub>	: 110 °C



### BAB V Spesifikasi Alat

---

$T_2$	:	110 °C
$t_1$	:	35 °C
$t_2$	:	85 °C

#### **Tube**

OD, BWG	:	1 in 14 BWG
ID	:	0,834 in
Length	:	12 ft
Jumlah tube	:	522
Pitch	:	1,25 in triangular
$\Delta P$ tube	:	0,000411095 psi

#### **Shell**

$\Delta P$ shell	:	0,001 psi
ID shell	:	33 in
Fouling factor	:	0,306 jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu

## 4. Kompresor (G-212)

Spesifikasi	Keterangan
No. Kode	= G-212
Fungsi	= Menaikkan tekanan umpan reaktor dari 1 atm
Jenis	= Axial Compressor (4 stage)
Bahan	= Cast Steel
Tekanan stage 1	= 23,28 psi
Tekanan stage 2	= 34,69 psi
Tekanan stage 3	= 52,20 psi
Tekanan stage 4	= 79,07 psi



*Power* = 70,02 hp

Jumlah *stage* = 4

### 5. Heater (E-213)

Spesifikasi	Keterangan	
Kode Alat	=	E-213
Fungsi	=	Menaikkan suhu umpan pentana
Jenis	=	DPHE
Jumlah	=	1
Bahan Konstruksi	=	Carbon Steel SA-283 Grade C
Luas Area	=	10,44 ft <sup>2</sup>
Temperatur		
$T_1$	=	428 °F
$T_2$	=	428 °F
$t_1$	=	197,6 °F
$t_2$	=	248 °F
<i>Outer pipe</i>	=	2,5
<i>Inner pipe</i>	=	1,25
<i>Length</i>	=	12 ft
Jumlah <i>hairpin</i>	=	1
<i>Fouling factor</i>	=	0,0163 jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu
$\Delta P$ <i>annulus</i>	=	0,02 psi
$\Delta P$ <i>inner pipe</i>	=	0,0005 psi



## 6. Reaktor (R-210)

Spesifikasi	Keterangan
No. kode	: R-210
Fungsi	: Tempat terjadinya reaksi pembentukan amil khloride
Tipe	: Tubular Reactor (Shell and Tube)
Kapasitas	: 5,25758734 m <sup>3</sup>
Bahan konstruksi	: Low -alloy steel SA - 302 Grade B
Tipe sambungan	: Double welded but joint
Jenis tutup	: Torispherical Head
Tinggi Reaktor	: 3 m
Tebal Reaktor	: 0,44 in
Tebal tutup	: 0,44 in
Jumlah	: 1 buah

## 7. Waste Heat Boiler (E-221)

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	: E-221
Fungsi	: Menurunkan suhu setelah keluar reaktor
Jenis	: <i>Shell and tube</i> (1-2 HE)
Jumlah	: 2
Bahan Konstruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	: 728,8512 ft <sup>2</sup>
Temperatur	
T <sub>1</sub>	: 260 °C
T <sub>2</sub>	: 45 °C
t <sub>1</sub>	: 30 °C





$t_2$	:	230	°C	
<b>Tube</b>				
OD, BWG	:	1	in	14 BWG
ID	:	0,834	in	
Length	:	12	ft	
Jumlah tube	:	232		
Pitch	:	1,25	in	triangular
$\Delta P$ tube	:	0,001	psi	
<b>Shell</b>				
ID shell	:	23,25	in	
$\Delta P$ shell	:	0,004	psi	
Fouling factor	:	0,007	jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu	

## 8. Flash Tank (D-220)

Spesifikasi	Keterangan		
Fungsi	:	Memisahkan produk reaktor dari gas HCl	
Tipe	:	Silinder vertikal berbentuk <i>torispherical</i>	
Kapasitas Tangki	:	3,7	m <sup>3</sup>
Diameter Tangki	:	1,05	m
Tinggi Tangki	:	4,6	m
Bahan konstruksi	:	<i>Austenitic Stainless Steel</i> , AISI tipe 304	
Tekanan	:	5,1	bar
Suhu	:	45	°C



### BAB V Spesifikasi Alat

---

#### 9. Reaktor (R-310)

Nama Alat	=	Reaktor
Kode alat	=	R-310
Fungsi	=	Memproduksi Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan katalis asam oleat
Bentuk	=	Silinder tegak dengan tutup dan alas Torispherical dengan pengaduk dan jaket pendingin
Tipe	=	Mixed Flow Reaktor
Bahan konstruksi	=	Stainless steel 316
Jumlah	=	1 unit
Tinggi	=	11,08278365 ft
Diameter	=	5,541391823 ft

#### 10. Dekanter (H-321)

##### Spesifikasi Alat

Nama	:	Dekanter
Bahan konstruksi	:	Carbon steel SA-283 Grade C
Volume dekanter	:	5,25 m <sup>3</sup>
panjang dan lebar	:	7,77 m dan 2,58 m
Waktu tinggal	:	2,77 Jam

#### 11. Kolom Amil Alkohol (D-320)

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	: D-320
Fungsi	: Memisahkan amilen dari campuran



	produk bawah kolom amil alkohol	
Jenis Kolom	:	<i>Tray Distillation Column</i>
Jenis Tray	:	<i>Perforated (Sieve Tray)</i>
Jumlah Tray	:	<i>Tray</i>
Diameter kolom	:	9,5 ft
<i>Tray spacing</i>	:	2 ft
<i>Active area</i>	:	63,42307234 sq.ft
<i>Area of holes</i>	:	6,342307234 sq.ft
<i>Area downcomer</i>	:	7,047008038 sq.ft
$A_h/A$	:	0,09
$A_d/A$	:	0,1
$A_h/A_A$	:	0,1
$d_h$	:	0,25 in
$l_w$	:	82,8438 in
$h_w$	:	1,5 in

## 12. Kondensor (E-324)

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= E-324
Fungsi	= Mengondensasikan uap dari kolom amil alkohol
Jenis	= <i>Shell and tube</i>
Jumlah	= 1
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	= 163,3632 ft <sup>2</sup>
Temperatur	



### BAB V Spesifikasi Alat

$T_1$	=	216,5	°F
$T_2$	=	216,5	°F
$t_1$	=	86	°F
$t_2$	=	113	°F

#### **Tube**

OD , BWG	=	1	in , 14 BWG
ID	=	0,834	in
Length	=	12	ft
Jumlah tube	=	52	
Pitch	=	1,25	in triangular
$\Delta P$ tube	=	0,08	psi

#### **Shell**

ID shell	=	12	in
$\Delta P$ shell	=	0,000002	psi
Fouling factor	=	1,65646361	jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu

### 13. Akumulator (A-325)

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	: A-325
Fungsi	: Menampung hasil keluaran kondensor kolom amil alkohol
Jenis	: <i>Horizontal - Torispherical Head Vessel</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Stainless Steel AISI - 304</i>
Kapasitas	: 37330,24315 in <sup>3</sup>



---

**Dimensi**

Panjang : 45,55 in

**Shell**

OD : 22,80 in

ID : 22,43 In

Tebal : 0,1875 In

**Head**

OD : 22 In

ID : 22,43 In

Tebal : 0,1875 In

Tinggi : 6 In

**14. Reboiler (E-326)****Spesifikasi****Keterangan**

Kode Alat = E-326

Fungsi = Mendidihkan kembali  
liquida dari kolom  
amil alkohol

Jenis = *Shell and tube* (1-6 HE)

Jumlah = 1

Bahan Konstruksi = *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Luas Area = 232,4784 ft<sup>2</sup>

**Temperatur**

T<sub>1</sub> = 446 °F

T<sub>2</sub> = 446 °F

t<sub>1</sub> = 225,5 °F




---



---

$t_2$	=	225,68	°F
<b><i>Tube</i></b>			
OD , BWG	=	1	in , 14 BWG
ID	=	0,834	in
<i>Length</i>	=	12	ft
Jumlah tube	=	74	
<i>Pitch</i>	=	1,25	in triangular
$\Delta P$ tube	=	0,01	psi
<b><i>Shell</i></b>			
ID shell	=	15,25	in
$\Delta P$ shell	=	diabaikan	
<i>Fouling factor</i>	=	0,218476451	jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu

## **BAB VI UTILITAS**

### **VI.1 Utilitas secara umum**

*Utility* yang memiliki arti didalam bahasa inggris adalah keperluan/kebutuhan, didalam proses industri/pabrik *utility* memiliki peran yang sangat vital bagi berjalannya proses produksi guna menunjang/memenuhi agar suatu proses produksi dapat berjalan dengan lancar dengan standar yang telah ditentukan. Pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi memiliki sarana utilitas sebagai berikut:

#### **VI.1.1 Air**

Kebutuhan air pada pabrik Amil Alkohol dipenuhi dari air sungai yang lebih dulu di treatment. Air digunakan untuk menghasilkan *steam* dari unit *boiler*, air pendingin, dan untuk keperluan sanitasi.

##### **a. Untuk air sanitasi**

Air sanitasi digunakan untuk keperluan minum, masak, cuci, mandi, dan sebagainya. Pada umumnya air sanitasi harus memenuhi syarat kualitas yang ditentukan sebagai berikut :

1. Syarat fisik :
  - a. Suhu di bawah suhu udara
  - b. Warna jernih
  - c. Tidak berasa
  - d. Kelarutan = 1 mg  $\text{SiO}_3/\text{lt}$
2. Syarat kimia :
  - a. pH = 6,5 – 8,5
  - b. Tidak mengandung zat terlarut berupa zat organik dan zat anorganik
  - c. Tidak mengandung zat-zat beracun
  - d. Tidak mengandung logam berat, seperti Pb, Ag, Cr, Hg
3. Syarat Biologi :
  - a. Tidak mengandung kuman dan bakteri, terutama bakteri patogen
  - b. Bakteri *Echerichia Coli* kurang dari 1/100 ml.

**b. Untuk air pendingin**

Sebagian besar air digunakan sebagai air pendingin karena dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

1. Air merupakan materi yang mudah didapat dalam jumlah besar
2. Mudah diatur dan dijernihkan
3. Dapat menyerap jumlah panas yang besar per satuan volume
4. Tidak mudah menyusut dengan adanya perubahan temperatur dingin
5. Tidak terdekomposisi

Syarat air pendingin tidak boleh mengandung :

1. *Hardness*  
Memberikan kecenderungan membentuk kerak pada alat-alat proses.
2. Besi  
Menyebabkan korosi pada alat.
3. Silika  
Menyebabkan pembentukan kerak.
4. Minyak  
Menyebabkan terganggunya *film corrosion* pada inhibitor, menurunkan *heat transfer* dan memicu pertumbuhan mikroorganisme.

Mengingat kebutuhan air pendingin cukup besar, maka perlu digunakan sistem sirkulasi untuk menghemat air yang diambil dari sungai dengan memakai *cooling water*.

**c. Untuk Air Umpan Boiler**

Air umpan *boiler* adalah air yang akan menjadi fase uap di dalam *boiler*, dimana telah mengalami perlakuan khusus antara lain penjernihan dan pelunakan, walaupun air terlihat bening atau jernih, namun pada umumnya masih mengandung larutan garam dan asam yang dapat merusak peralatan *boiler*.





Air umpan *boiler* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. pH = 8,5 – 9,5
2. *Hardness* = 1 ppm
3. O<sub>2</sub> terlarut = 0,02 ppm
4. CO<sub>2</sub> terlarut = 25 ppm
5. Fe<sup>3+</sup> = 0,05 ppm
6. Ca<sup>2+</sup> = 0,01 ppm
7. SiO<sub>2</sub> = 0,1 ppm
8. Cl<sub>2</sub> = 4,2 ppm

Setelah dari unit pengolahan, air ini digunakan sebagai air umpan *boiler*, yang terlebih dahulu dilakukan pelunakan air. Tujuannya adalah untuk menghilangkan ion Mg<sup>2+</sup> dan Ca<sup>2+</sup> yang dapat menyebabkan pembentukan kerak. Kerak akan menghalangi proses perpindahan panas sehingga menyebabkan *over-heating* yang memusat dan dapat menyebabkan pecahnya pipa.

### VI.1.2 *Steam*

*Steam* dihasilkan dari unit *boiler* dan digunakan untuk proses produksi, yaitu:

- Kolom distilasi, sebagai pemanas untuk memisahkan komponen yang diinginkan pada campuran berdasarkan perbedaan titik didihnya.

### VI.1.3 Bahan bakar

Bahan bakar diperlukan pada proses produksi pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi pada unit *boiler*. Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara.

### VI.1.4 Listrik

Kebutuhan listrik pabrik dipenuhi dari PT.PLN Persero. Listrik pada pabrik digunakan untuk penerangan pabrik, dan proses produksi.



## VI.2 Utilitas di Pabrik Amil Alkohol

Pabrik Amil Alkohol dengan proses klorinasi memiliki sarana utilitas berupa air, *steam* serta listrik. Berikut kebutuhan utilitas pada pabrik Amil alkohol:

### VI.2.1 Air

Kebutuhan air pada pabrik Amil alkohol dipenuhi dari air sungai Cidanau dengan debit 1000 liter/detik yang terlebih dulu di *treatment*. Air digunakan untuk menghasilkan *steam* dari unit *boiler*, pendingin untuk *cooler*, dan untuk keperluan sanitasi.

#### a. Air sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan karyawan, laboratorium, perkantoran, pemadam kebakaran dan keperluan lainnya. Berikut jumlah air sanitasi yang dibutuhkan pada pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi.

- Untuk keperluan karyawan

Asumsi:

Jumlah karyawan	= 300 orang
Kebutuhan tiap orang	= 120 liter/hari/kapita
Total kebutuhan air	= 120 x 300
	= 36.000 liter/hari

- Untuk laboratorium

Direncanakan kebutuhan air untuk laboratorium adalah 15% dari kebutuhan karyawan, sehingga kebutuhan air adalah:

$$15\% \times 36000 \text{ liter/hari} = 5400 \text{ liter/hari}$$

- Untuk hidran kebakaran

Standar kebutuhan air untuk hidran kebakaran menurut SNI 19-6728.1-2002 sebesar 5% dari kebutuhan domestik (kebutuhan air karyawan), sehingga kebutuhan air adalah :

$$5\% \times 36000 \text{ liter/hari} = 1800 \text{ liter/hari}$$

#### b. Air pendingin

Air pendingin pada pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi adalah untuk pendingin pada *cooler* dan kondensor. Kebutuhan air pendingin pada pabrik



Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi adalah sebagai berikut:

**Tabel VI.1** Kebutuhan Air Pendingin

No	Nama Alat	Kebutuhan (kg/hari)
1.	Kondensor (E-232)	13027,97
2.	Cooler (E-315)	60506,08
3.	Reaktor (R-310)	657388,01
4.	Kondensor (E-324)	4599,75
Total		735521,81

c. Air Umpan *Waste Heat Boiler* (WHB)

Air umpan *boiler* (WHB) adalah air umpan yang dilunakkan dari kandungan mineral yang terdapat dalam air tersebut. Walaupun air sudah kelihatan jernih tetapi pada umumnya masih mengandung garam dan asam yang dapat merusak *boiler*. Proses pelunakan pada air *boiler* disebut sebagai proses demineralisasi. Proses ini digunakan untuk menghilangkan ion-ion yang tidak diinginkan dalam air seperti : arsen, nitrat, kalsium dan magnesium (*hardness*). Dalam *ion exchange* ini digunakan kation dan anion untuk menghilangkan ion-ion dalam air (Pizzi, 1979).

Proses *ion exchange* ini digunakan untuk air yang akan digunakan untuk *boiler*. Air umpan *boiler* memiliki syarat khusus. Keberadaan ion besi, arsen, nitrat, kalsium dan magnesium dapat merusak *boiler* dan mempercepat kerak pada *boiler*.

*Boiler* yang digunakan merupakan *boiler* dengan tekanan tinggi. Sehingga syarat air umpan *boiler* sangat ketat berbeda dengan *boiler* dengan tekanan rendah. Air umpan *boiler* bertekanan tinggi harus melalui proses demineralisasi. Proses demineralisasi terdiri atas kolom kation yang berisi resin kation dan kolom anion berisi resin anion.

Pada kolom kation ion-ion positif dalam air ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) akan diikat oleh resin kation, sedangkan ion-ion negatif dalam air ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) selanjutnya akan diikat



oleh resin anion. Regenerasi resin kation menggunakan larutan HCl sedangkan untuk regenerasi resin anion menggunakan larutan NaOH (Imafuku, 1999).

### VI.2.2 Steam

Steam yang dihasilkan dari unit *waste heat boiler* (WHB) yaitu dengan mengubah air pendingin menjadi steam. Steam disupplay ke dalam alat-alat dalam pemenuhan kebutuhan proses biasanya digunakan sebagai media pemanas dalam proses produksi pada pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi. Kebutuhan air *boiler* pada adalah:

**Tabel VI.2** Kebutuhan Steam

No	Nama Alat	Jumlah Steam (kg/hari)
1.	Reaktor (R-210)	80441,14
2.	Waste Heat Boiler (E-221)	38510,64
3.	Kondensor (E-242)	29209,17
Total		148160,95

### VI.3 Listrik

Listrik pada pabrik digunakan untuk penerangan pabrik, dan proses produksi sebagai tenaga penggerak beberapa peralatan proses seperti pompa dan peralatan proses kontrol. Tenaga listrik untuk pabrik ini dipenuhi oleh jaringan PT.PLN Persero dan sebagai cadangan digunakan generator untuk mengatasi keadaan bila sewaktu-waktu terjadi gangguan PLN.

Dari uraian di atas dapat dihitung kebutuhan air yang digunakan pada pabrik Amil Alkohol. Berikut kebutuhan air yang diambil dari sungai per hari :

- Air Sanitasi

Dari rincian di atas, dapat dihitung kebutuhan air sanitasi pada pabrik Amil Alkohol ini sebesar

$$\begin{aligned}\text{Total kebutuhan air sanitasi} &= (36000+5400+1800) \text{ liter/hari} \\ &= 43200 \text{ liter/hari} = 43,2 \text{ m}^3/\text{hari}.\end{aligned}$$

- Air Pendingin

Total air yang digunakan sebagai pendingin pada sebesar 735521,81 kg/hari. Setelah air pendingin digunakan, air



*direcycle* dan dapat digunakan kembali. Sebagian air hilang ketika *direcycle*. Oleh karena itu dibutuhkan air *make up* agar jumlah air pendingin tetap sama.

$\rho$  pada  $30^{\circ}\text{C}$  =  $995,68 \text{ kg/m}^3$  (*Geankoplis, 2003*)

Kebutuhan air Pendingin =  $735521,81 \text{ kg/hari} / 995,68 \text{ kg/m}^3$   
 $= 738,31 \text{ m}^3/\text{hari}$

*Water make up* pendingin =  $10\% \times 738,31 \text{ m}^3/\text{hari}$   
 $= 73,87 \text{ m}^3/\text{hari}$

- Air Proses

Jumlah kebutuhan untuk air proses didapatkan dari *Appendiks B-perhitungan neraca panas*. Air proses ini diperlukan pada beberapa alat di bawah ini :

**Tabel VI.3 Kebutuhan Air Peroses**

No.	Nama Peralatan	Kebutuhan air (kg/hari)
1.	Tangki NaOH (F-312)	12085,52
<b>Total</b>		12085,52

$\rho$  pada  $30^{\circ}\text{C}$  =  $995,68 \text{ kg/m}^3$  (*Geankoplis, 2003*)

Kebutuhan air proses =  $12085,52 \text{ kg/hari} / 995,68 \text{ kg/m}^3$   
 $= 12,14 \text{ m}^3/\text{hari}$

Jadi, kebutuhan air proses yang dibutuhkan sebesar =  $12,14 \text{ m}^3/\text{hari}$

- Air Umpan *Waste Heat Boiler*

Total air umpan *Waste Heat Boiler* yang dibutuhkan pada pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi sebesar  $148160,95 \text{ kg/hari}$ . Pada proses pemanasan sekitar 80% kondensat dapat digunakan kembali, sehingga dibutuhkan air tambahan untuk umpan *boiler* agar *steam* yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan.

$\rho$  pada  $30^{\circ}\text{C}$  =  $995,68 \text{ kg/m}^3$  (*Geankoplis, 2003*)

Kebutuhan Air Umpan *Waste Heat boiler* =  $148160,95 \text{ kg/hari} / 995,68 \text{ kg/m}^3 = 148,8 \text{ m}^3/\text{hari}$



$$\text{Water make up Waste Heat Boiler} = 20\% \times 148,8 \text{ m}^3/\text{hari} = 29,76 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari rincian diatas dapat dihitung jumlah air keseluruhan yang dibutuhkan pada pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi. Berikut total air yang dibutuhkan :

**Tabel VI.3** Kebutuhan Air Tiap Hari

Kegunaan	Jumlah (m <sup>3</sup> /hari)
Air Sanitasi	43,2
Water Make Up Pendingin	73,87
Water Process	12,14
Water Make Up Umpan WHB	29,76
Total	158,97

Jumlah air yang dibutuhkan sebesar 158,97 m<sup>3</sup>/hari.

## **BAB VII**

### **KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

#### **VII.1 Pengertian dan Tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja**

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan salah satu syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam suatu perusahaan sebagai suatu usaha kontrol kondisi kerja untuk mengurangi, mencegah dan menghilangkan peluang terjadinya kerugian yang diakibatkan adanya kelalaian dalam bekerja sehingga dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan kecelakaan kerja bagi diri sendiri maupun orang lain, menyebabkan cacat hingga menyebabkan kematian, menimbulkan kerusakan-kerusakan pada peralatan kerja, serta menimbulkan bahaya lingkungan akibat dari proses produksi suatu perusahaan, dimana hal tersebut dapat mengurangi produktivitas pekerja dan perusahaan.

Menurut Peraturan Pemerintah No.50 tahun 2012, tujuan dari adanya keselamatan dan kesehatan kerja (K3) antara lain:

1. Meningkatkan efektifitas perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja yang terencana, terukur, terstruktur, dan terintegrasi.
2. Mencegah dan mengurangi kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja dengan melibatkan unsur manajemen, pekerja/buruh, dan serikat pekerja/serikat buruh.
3. menciptakan tempat kerja yang aman, nyaman, dan efisien untuk mendorong produktivitas

#### **VII.2 Sebab- Sebab Terjadinya Kecelakaan Kerja**

Secara umum, terjadinya kecelakaan disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Lingkungan Fisik

Lingkungan fisik meliputi mesin, peralatan, bahan produksi lingkungan kerja, penerangan dan lain-lain. Kecelakaan terjadi akibat dari:



- a. Kesalahan perencanaan
  - b. Rusaknya peralatan
  - c. Kesalahan pada waktu pembelian
  - d. Terjadinya ledakan karena kondisi operasi yang tidak terkontrol
  - e. Penyusunan peralatan dan bahan produksi yang kurang tepat.
  - f. Lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan seperti panas, lambat, bising dan salah penerangan.
2. Manusia
- Kecelakaan yang disebabkan oleh manusia (karyawan) dapat terjadi akibat beberapa hal, yang antara lain adalah sebagai berikut :
- a. Kurangnya pengetahuan dan keterampilan karyawan
  - b. Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran karyawan akan keselamatan kerja.
3. Sistem Manajemen
- Kecelakaan yang disebabkan karena sistem manajemen, dapat terjadi akibat beberapa hal di bawah ini, yaitu:
- a. Kurangnya perhatian manajer terhadap keselamatan kerja.
  - b. Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi.
  - c. Kurangnya sistem penanggulangan terhadap bahaya.
  - d. Kurangnya penerapan prosedur yang baik.
  - e. Tidak adanya inspeksi peralatan.

### **VII.3 Hal-hal yang Diperhatikan Tentang Kecelakaan Kerja**

Untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

a. Bangunan pabrik

Bangunan gedung beserta alat-alat konstruksinya harus memenuhi persyaratan yang telah direkomendasikan oleh para ahli yang bersangkutan untuk menghindari bahaya-bahaya kebakaran, kerusakan akibat cuaca, gempa, petir, banjir dan lain sebagainya. Lingkungan sekitar pabrik harus dapat memberikan





rasa aman dan nyaman bagi para pekerja serta penduduk sekitarnya. Jangan sampai kehadiran pabrik tersebut menimbulkan pencemaran bagi lingkungan sekitar sehingga mengakibatkan ketidaknyamanan bagi penduduk sekitar.

b. Bahan Kimia

Diperlukan pengetahuan tentang sifat berbahaya dari bahan-bahan kimia yang dipergunakan serta cara pencegahan maupun pengendaliannya. Dengan pengetahuan dan selalu bertindak hati-hati dalam penggunaan bahan kimia berbahaya, kecelakaan yang mungkin terjadi, dapat dihindarkan.

Bahan-bahan kimia berbahaya dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Explosif (mudah meledak)
2. Flamable (mudah terbakar)
3. Oxidazing Agent (bahan oksidator)
4. Bahan mudah terbakar oleh air
5. Bahan mudah terbakar oleh asam
6. Gas Bertekanan Tinggi
7. Bahan-bahan beracun

c. Ventilasi

Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan system ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena selalu mendapatkan udara yang bersih.

d. Alat-alat bergerak

Alat-alat berputar atau bergerak seperti motor pada pompa, motor pada pengaduk harus selalu berada dalam keadaan tertutup, minimal diberi penutup pada bagian yang bergerak, serta harus diberi jarak yang cukup dengan peralatan yang lainnya, sehingga bila terjadi kerusakan akan dapat diperbaiki dengan mudah.

e. Peralatan yang menggunakan sistem perpindahan panas

Peralatan yang memakai sistem perpindahan panas harus diberi isolator, misalnya : *Boiler, Cooler, Heater* dan



sebagainya. Disamping itu di dalam perancangan factor keselamatan harus diutamakan, antara lain dalam hal pengelasan (pemilihan sambungan las), faktor korosi, tekanan (*stress*). Hal ini memegang peran penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan kerja, efisiensi dan produktivitas operasional, terutama untuk mencegah kehilangan panas pada alat-alat tersebut. Selain itu harus diupayakan agar suhu ruang tidak terlalu tinggi dengan jalan memberi ruang (*space*) yang cukup untuk peralatan mencegah kebocoran steam yang terlalu besar, serta pemasangan alat-alat kontrol yang sesuai.

f. Sistem perpipaan

Pipa-pipa harus dipasang secara efektif supaya mudah menghantarkan fluida proses atau utilitas tanpa adanya kehilangan energi atau massa, dalam waktu yang tepat. Pipa – pipa tersebut juga harus diletakkan di tempat yang terjangkau dan aman sehingga mudah diperbaiki dan dipasang. Untuk pipa yang dilalui fluida panas harus diberi isolasi (berupa sabut atau asbes) dan diberi sambungan yang dapat memberikan fleksibilitas seperti belokan -U (*U-bed*), *tee*, juga pemilihan *valve* yang sesuai untuk menghindari peledakan yang diakibatkan oleh pemuaiian pipa.

g. Sistem kelistrikan

Penerangan di dalam ruangan harus cukup baik dan tidak menyilaukan agar para pekerja dapat bekerja dengan baik dan nyaman. Setiap peralatan yang dioperasikan secara elektris harus dilengkapi dengan pemutusan arus (sekring) otomatis serta dihubungkan dengan tanah (*ground*) dalam bentuk arde, untuk menjaga apabila sewaktu-waktu terjadi hubungan singkat. Pemeriksaan peralatan listrik secara teratur perlu dilakukan.

h. Karyawan

Seluruh karyawan dan pekerja, terutama yang menangani unit-unit vital, hendaknya diberi pengetahuan dan pelatihan khusus dalam bidang masing-masing, juga dalam bidang kesehatan dan keselamatan kerja secara umum. Disamping itu



pihak pabrik harus gencar memberikan penyuluhan tentang Kesehatan dan Keselamatan kerja (K-3), baik secara lisan maupun secara tertulis (berupa tanda-tanda bahaya atau larangan serta peraturan pengoperasian peralatan yang baik dan pada tiap-tiap alat terutama yang berisiko tinggi). Dengan demikian diharapkan para karyawan akan mampu menangani kondisi darurat yang dapat terjadi sewaktu-waktu, setidaknya pada tahap awal.

#### **VII.4 Penggunaan Alat pelindung diri (APD)**

Menurut Permenaker Nomor PER.08/MEN/VII/2010 untuk mengurangi akibat kecelakaan kerja, maka setiap perusahaan harus menyediakan alat perlindungan diri (APD) yang harus disesuaikan dengan jenis perusahaannya masing-masing. Alat pelindung diri (APD) bukan merupakan alat untuk menghilangkan bahaya di tempat kerja, namun hanya merupakan salah satu usaha untuk mencegah dan mengurangi kontak antara bahaya dan tenaga kerja yang sesuai dengan standar kerja yang diijinkan. Syarat – syarat Alat Pelindung Diri adalah:

1. Memiliki daya cegah dan memberikan perlindungan yang efektif terhadap jenis bahaya yang dihadapi oleh tenaga kerja.
2. Konstruksi dan kemampuannya harus memenuhi standar yang berlaku.
3. Efisien, ringan, dan nyaman dipakai.
4. Tidak mengganggu gerakan – gerakan yang diperlukan.
5. Tahan lama dan pemeliharannya mudah.

Fungsi dan jenis alat pelindung diri (APD) adalah sebagai berikut:

1. Alat Pelindung Kepala
  - Fungsi

Alat pelindung kepala adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan, terantuk,



kejatuhan atau terpukul benda tajam atau benda keras yang melayang atau meluncur di udara, terpapar oleh radiasi panas, api, percikan bahan-bahan kimia, jasad renik (mikro organisme) dan suhu yang ekstrim.

- Jenis

Jenis alat pelindung kepala terdiri dari helm pengaman (*safety helmet*), topi atau tudung kepala, penutup atau pengaman rambut, dan lain-lain.



**Gambar VII.1** Alat Pelindung Kepala

## 2. Alat Pelindung Mata dan Muka

- Fungsi

Alat pelindung mata dan muka adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi mata dan muka dari paparan bahan kimia berbahaya, paparan partikel-partikel yang melayang di udara dan di badan air, percikan benda-benda kecil, panas, atau uap panas, radiasi gelombang elektromagnetik yang mengion maupun yang tidak mengion, pancaran cahaya, benturan atau pukulan benda keras atau benda tajam.

- Jenis

Jenis alat pelindung mata dan muka terdiri dari kacamata pengaman (*spectacles*), goggles, tameng muka (*face shield*), masker selam, tameng muka dan kacamata pengaman dalam kesatuan (*full face mask*).



**Gambar VII.2** Alat Pelindung Mata dan Muka

### 3. Alat Pelindung Telinga

- Fungsi

Alat pelindung telinga adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi alat pendengaran terhadap kebisingan atau tekanan.

- Jenis

Jenis alat pelindung mata dan muka terdiri dari kacamata pengaman (*spectacles*), goggles, tameng muka (*face shield*), masker selam, tameng muka dan kacamata pengaman dalam kesatuan (*full face masker*).



**Gambar VII.3** Alat Pelindung Telinga

### 4. Alat Pelindung Pernapasan beserta Perlengkapannya



- Fungsi

Alat pelindung pernapasan beserta perlengkapannya adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi organ pernapasan dengan cara menyalurkan udara bersih dan sehat dan/atau menyaring cemaran bahan kimia, mikro-organisme, partikel yang berupa debu, kabut (*aerosol*), uap, asap, gas/fume, dan sebagainya.

- Jenis

Jenis alat pelindung pernapasan dan perlengkapannya terdiri dari masker, respirator, katrit, kanister, *Re-breather*, *Airline respirator*, *Continues Air Supply Machine*=*Air Hose Mask Respirator*, tangki selam dan regulator (*Self-Contained Underwater Breathing Apparatus /SCUBA*), *Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)*, dan *emergency breathing apparatus*.



**Gambar VII.4** Alat Pelindung Pernapasan

## 5. Alat Pelindung Tangan

- Fungsi

Pelindung tangan (sarung tangan) adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi tangan dan jari-jari tangan dari pajanan api, suhu panas, suhu dingin, radiasi elektromagnetik, radiasi mengion, arus listrik, bahan kimia, benturan, pukulan dan tergores, terinfeksi zat patogen (virus, bakteri) dan jasad renik.

- Jenis



Jenis pelindung tangan terdiri dari sarung tangan yang terbuat dari logam, kulit, kain kanvas, kain atau kain berpelapis, karet, dan sarung tangan yang tahan bahan kimia.



**Gambar VII.5** Alat Pelindung Tangan

#### 6. Alat Pelindung Kaki

- Fungsi

Alat pelindung kaki berfungsi untuk melindungi kaki dari tertimpa atau berbenturan dengan benda-benda berat, tertusuk benda tajam, terkena cairan panas atau dingin, uap panas, terpajan suhu yang ekstrim, terkena bahan kimia berbahaya dan jasad renik, tergelincir.

- Jenis

Jenis Pelindung kaki berupa sepatu keselamatan pada pekerjaan peleburan, pengecoran logam, industri, konstruksi bangunan, pekerjaan yang berpotensi bahaya peledakan, bahaya listrik, tempat kerja yang basah atau licin, bahan kimia dan jasad renik, dan/atau bahaya binatang dan lain-lain.

#### 7. Pakaian Pelindung

- Fungsi

Pakaian pelindung berfungsi untuk melindungi badan sebagian atau seluruh bagian badan dari bahaya temperatur panas atau dingin yang ekstrim, pajanan api dan benda-benda panas, percikan bahan-bahan kimia, cairan dan logam panas, uap panas, benturan (*impact*) dengan mesin, peralatan dan



bahan tergores, radiasi, binatang, mikro-organisme patogen dari manusia, binatang, tumbuhan dan lingkungan seperti virus, bakteri dan jamur.

- Jenis

Jenis pakaian pelindung terdiri dari rompi (*Vests*), celemek (*Apron/Coveralls*), Jacket, dan pakaian pelindung yang menutupi sebagian atau seluruh bagian badan



**Gambar VII.7** Pakaian Pelindung

#### 8. Alat Pelindung Jatuh Perorangan

- Fungsi

Alat pelindung jatuh perorangan berfungsi membatasi gerak pekerja agar tidak masuk ke tempat yang mempunyai potensi jatuh atau menjaga pekerja berada pada posisi kerja yang diinginkan dalam keadaan miring maupun tergantung dan menahan serta membatasi pekerja jatuh sehingga tidak membentur lantai dasar.

- Jenis

Jenis alat pelindung jatuh perorangan terdiri dari sabuk pengaman tubuh (*harness*), karabiner, tali koneksi (*lanyard*), tali pengaman (*safety rope*), alat penjepit tali (*rope clamp*), alat penurun (*decender*), alat penahan jatuh bergerak (*mobile fall arrester*), dan lain-lain.





### VII.5 Peraturan Peraturan Umum K3 di Pabrik *Amyl Alcohol*

Setiap pabrik harus memiliki peraturan – peraturan umum K3 yang harus dijalankan oleh setiap elemen dari pabrik itu sendiri. Berikut peraturan – peraturan K3 pada pabrik *amyl alcohol* :

1. Setiap tenaga kerja berhak mendapatkan perlindungan atas keselamatan dalam melakukan pekerjaan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas.
2. Setiap orang lainnya yang berada di tempat kerja perlu adanya jaminan keselamatan.
3. Setiap sumber-sumber produksi harus digunakan secara aman dan efisien.
4. Pengurus/pimpinan perusahaan diwajibkan memenuhi dan menaati semua syarat-syarat dan ketentuan keselamatan kerja yang berlaku bagi usaha dan tempat kerja yang dijalankan.
5. Setiap orang yang memasuki tempat kerja diwajibkan menaati semua persyaratan keselamatan kerja.
6. Tercapainya kecelakaan nihil.

### VII.6 Penerapan Aplikasi K3 di Pabrik *Amyl Alcohol*

Berikut merupakan tabel perbandingan sifat-sifat kimia yang dimiliki oleh bahan baku pentana dan klorin di pabrik Amil Alkohol :

**Tabel VII.1** Perbandingan sifat kimia pada Bahan Baku di Pabrik Amil Alkohol

No	Sifat Kimia	Pentana	Klorin
1.	<i>Oxidizing</i>	√	√
2.	Tangki Bertekanan	√	√
3.	Korosif	√	√
4.	<i>Toxic</i>	√	√
5.	Iritasi	√	√
6.	Bahaya bagi lingkungan	√	√

Melihat dari sifat-sifat kimia yang dimiliki bahan baku di Pabrik Amil Alkohol yang berupa pentana dan klorin yang



berwujud liquid dan gas yang bersifat B3. Maka dalam setiap proses produksinya menggunakan suhu dan tekanan tinggi sehingga berpotensi sangat besar sewaktu-waktu dapat terjadi keadaan darurat seperti kebakaran, kebocoran gas/bahan kimia, dan bahkan peledakan dahsyat yang dapat mengancam kesehatan, keamanan, kenyamanan dan keselamatan jiwa tenaga kerja serta lingkungan sekitar terjadi. Maka pabrik Amil Alkohol menerapkan sistem tanggap darurat (*Emergency Response*) meliputi kesiagaan terhadap keadaan darurat, penanggulangan keadaan darurat dan bahkan pemulihan keadaan darurat.

Penerapan sistem tanggap darurat (*Emergency Response*) di Pabrik Amil Alkohol yaitu sebagai berikut :

1. Ketika terjadi keadaan darurat seperti kebakaran besar, ledakan dahsyat, bocoran B3 yang kuat, semburan minyak/gas dan lain-lain, maka karyawan yang ditugaskan *stand by* di *fire station* berkewajiban untuk membunyikan sirine tanda keadaan darurat, dengan segera memijit tombol sirine. Tanda *emergency* (bunyi sirine) yang merupakan pemberitahuan kepada karyawan yang berada di lingkungan perusahaan dan sekitarnya atas terjadinya suatu keadaan darurat. Komunikasi dalam *emergency response* di Pabrik Amil Alkohol untuk memberitahukan bahwa telah terjadi keadaan darurat yaitu menerapkan komunikasi satu arah dan dua arah. Komunikasi satu arah seperti *pagging system*, sedangkan komunikasi dua arah seperti telepon dan *handy talky*.
2. Penyediaan fasilitas dan sarana penunjang dalam keadaan tanggap darurat (*Emergency Response*)
  - a. Alat pelindung diri  
Alat Pelindung Diri merupakan suatu alat pelindung yang dipakai dari kepala sampai ujung kaki, yang dibuat untuk melindungi diri dari bahaya-bahaya kerja dan lingkungan kerja. Pabrik Amil Alkohol menyediakan Alat Pelindung



Diri (APD) yang disesuaikan dengan keadaan darurat yang telah terjadi dan bahaya yang diidentifikasi. Berikut merupakan tabel pemakaian APD yang telah disesuaikan dengan keadaan darurat yang telah terjadi dan bahaya yang diidentifikasi di lingkungan pabrik :

**Tabel VII.2** Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Pabrik Amil Alkohol

No.	Daerah	Bahaya	Alat Pelindung Diri
1.	Perpipaan	Kebocoran pipa, sehingga aliran panas steam ataupun bahan panas dapat keluar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Safety helmet</i></li> <li>• <i>Welding glass</i></li> <li>• <i>Air respirator</i></li> <li>• Sepatu</li> <li>• Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>)</li> </ul>
2.	Pompa dan kompresor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menimbulkan kebisingan</li> <li>• Terjadi Kebocoran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Safety helmet</i></li> <li>• <i>Welding glass</i></li> <li>• <i>Ear muff</i></li> <li>• <i>Air respirator</i></li> <li>• Sepatu</li> <li>• Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>)</li> </ul>
3.	Tangki penyimpan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terjadi kebocoran</li> <li>• Meledak</li> <li>• Berisi zat yang cukup berbahaya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Safety helmet</i></li> <li>• <i>Welding glass</i></li> <li>• <i>Air respirator</i></li> </ul>



			<ul style="list-style-type: none"><li>• Sepatu</li><li>• Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>)</li></ul>
4.	Heater dan WHB	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menimbulkan panas</li><li>• Terjadi kebocoran</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Safety helmet</i></li><li>• <i>Welding glass</i></li><li>• <i>Air respirator</i></li><li>• Sarung tangan</li><li>• Sepatu</li><li>• Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>)</li></ul>
5.	Vaporizer, Flash Tank, Reaktor dan Kolom Destilasi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bertekanan dan bertemperatur tinggi</li><li>• Berisi gas berbahaya</li><li>• Terjadi kebocoran</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Safety helmet</i></li><li>• <i>Welding glass</i></li><li>• <i>Air respirator</i></li><li>• Sarung tangan</li><li>• Sepatu</li><li>• Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>)</li></ul>

b. Alat pemadam kebakaran

- APAR (Alat Pemadam Api Ringan)

Karena sifat dari bahan baku pentana dan klorin yang sangat mudah terbakar dan mudah terdispersi dalam air maka APAR yang digunakan di Pabrik Amil Alkohol adalah jenis *Dry chemical* (DC) dan *Foam* (busa) Untuk kebakaran kecil menggunakan bubuk



kimia keringsedangkan untuk kebakaran besar menggunakan busa alkohol, Semprotan air atau kabut.Cool untuk mencegah tekanan build-up, autoignition atau ledakan. Sarana APAR ini disediakan di setiap ruangan di Pabrik Amil Alkohol.

- *Sprinkler*

Sarana pemadam system *sprinkler* ditempatkan khusus di sekeliling *pentane and chlorine storage tank* (tangki penyimpanan pentana dan klorin) yang digunakan apabila terjadi kebocoran pentana dan klorin. Sistem kerjanya adalah dengan membuka *valve* pengaman, air akan menyelimuti seluruh bagian tangki pentane dan klorin. Pemeriksaan terhadap *sprinkler system* dilakukan setiap satu bulan sekali oleh Bagian *Maintenance*

- *Fire Hydrant, Hose Box dan Fire Hose*

*Hydrant* dan perlengkapannya disediakan di setiap unit tempat kerja. Pemeriksaan *fire hydrant* meliputi pemeriksaan cat, monitor, poster, *valve*, dan *caps* serta lamanya *flushing*. Sedangkan untuk pemeriksaan *hose box* dan *fire hose* meliputi *fire hose, nozzle*, dan kunci-kunci selang.

- c. *Detector dan Sistem Tanda Kebakaran*

Setiap bangunan atau gedung di Pabrik Amil Alkohol telah memakai sistem *alarm* kebakaran. Untuk yang di dalam ruangan digunakan bel, dimana apabila terjadi kebakaran (*heat*/panas atau *smoke*/asap) akan terdeteksi oleh *heat detector* dan *smoke detector* yang terkoneksi ke *fire alarm system*.

- d. *Peta Evakuasi*

Peta evakuasi di distribusikan ke seluruh unit kerja dan disosialisasikan kepada seluruh karyawan tentang gambaran jika terjadi keadaan darurat. Peta evakuasi yang berfungsi untuk menunjukkan arah atau *route* yang harus dilalui bila terjadi keadaan



- 
- darurat. Peta evakuasi diantaranya berisi lokasi potensi bahaya keadaan darurat yaitu potensi bahaya tinggi, potensi bahaya sedang dan potensi bahaya rendah, *assembly point*, *rute*.
- e. Pintu darurat dan tangga darurat  
Tangga darurat sudah dirancang dengan baik untuk mengantisipasi jika terjadi keadaan darurat. Untuk pintu darurat tidak dirancang secara khusus, akan tetapi menggunakan pintu keluar masuk yang ada di tiap-tiap ruangan yang ditandai dengan papan berwarna hijau yang bertuliskan kata *exit*.
  - f. Sarana keadaan darurat seperti *safety shower* dan *eye wash fountain*, *wind direction*, gardu darurat, *sliding chute*, *assembly point*, tandu).
3. Tindakan evakuasi yang dilakukan dalam keadaan darurat (*Emergency Response*) di Pabrik Amil Alkohol
- Komandan Penanggulangan setelah menginstruksikan pembunyian sirine, juga memberikan lewat *pagging* mengenai tindakan-tindakan pelaksanaan evakuasi:
- a) Segera hentikan segala aktifitas terutama aktifitas yang menggunakan atau mengeluarkan api/bunga api.
  - b) Semua kendaraan harus menepi dan mesin dimatikan, kecuali kendaraan *Emergency* atau untuk tujuan Evakuasi.
  - c) Berjalan menurut jalan, pintu yang telah ditentukan untuk tujuan evakuasi. Evakuasi juga dibuat *rute*/ jalur evakuasi penyelamatan, sehingga proses evakuasi dapat berjalan dengan cepat, lancar, efektif dan efisien. Dengan melalui *rute-rute* dan garis yang telah dibuat pada peta jalur evakuasi menuju tempat yang lebih aman (*assembly point*).



d) Setelah mencapai tempat yang telah ditentukan assembly point hubungi Posko untuk mendapat bantuan transportasi. Evakuasi yang dilaksanakan saat keadaan darurat terjadi di Pabrik Amil Alkohol dapat dilaksanakan dengan baik. Selain dibentuk Tim Evakuasi juga dibuat *rute/* jalur evakuasi penyelamatan, sehingga proses evakuasi dapat berjalan dengan cepat, lancar, efektif dan efisien. Dengan melalui *rute-rute* dan garis yang telah dibuat pada peta jalur evakuasi menuju tempat yang lebih aman (*assembly point*).

e) Perhitungan Pekerja pada Titik Pertemuan

Setelah pekerja semua berkumpul (dievakuasi) dilakukan perhitungan jumlah pekerja untuk memastikan semua pekerja telah di evakuasi.

f) Memindahkan Pekerja yang Cidera

Apabila ada pekerja yang cidera maka mereka harus dipindahkan dari lokasi gawat darurat oleh anggota Tim Gawat Darurat dan Tim P3K untuk kemudian diberikan pertolongan pertama dengan mengangkut korban ke mobil *ambulance* untuk dibawa ke poliklinik dan ke Rumah Sakit terdekat yang sebelumnya telah dihubungi atau telah bekerjasama dengan perusahaan sesuai dengan tingkat keseriusan korban untuk mendapatkan perawatan yang lebih intensif.

g) Melakukan penghentian sarana atau jalannya proses produksi apabila dirasa bahwa keadaan tersebut berbahaya.

h) Memasang penghalang/zona isolasi.

#### 4. Tindakan pemulihan yang dilakukan pasca keadaan darurat (*Emergency Response*) di Pabrik Amil Alkohol

Tindakan-tindakan yang dilakukan dalam rencana pemulihan pasca keadaan darurat antara lain :Melakukan observasi ke tempat kejadian keadaan darurat, melakukan investigasi, mengadakan rapat evaluasi dan penyusunan laporan.



- 
5. Tindakan Pencegahan dan Minimalisir bahaya dan kecelakaan kerja yang terjadi di Pabrik Amil Alkohol
    - Ruang Penyimpanan Bahan Baku Pentana dan Klorin :
      1. Seluruh instalasi listrik harus kedap-ledakan atau terlindung
      2. Terdapat pendeteksi uap atau asap
      3. Pelindung dari petir harus dipasang
      4. Fasilitas harus dijaga agar secara umum bersih
      5. Harus ada pasokan air yang sesuai untuk membersihkan mata atau tubuh dalam jarak 30 meter
      6. Container harus dijaga agar tetap tertutup atau ditutup sewaktu tidak digunakan
      7. MSDS dan CSDS Pentana dan Klorin harus tersedia
      8. Rambu peringatan harus dapat dilihat dengan jelas
    - Hal-hal yang dapat dihindari dari kecelakaan terhadap Bahan Baku:
      1. Pentana dan klorin bersifat menyala dan dapat terbakar sehingga harus dipisah dari material reaktif, dan sebagainya.
      2. Material adsorbent (penjerap) dan pembersih harus tersedia untuk digunakan apabila terjadi tumpahan atau apabila ada sedikit yang terbebas
      3. Harus dilakukan pemeriksaan rutin atas daerah penyimpanan untuk mengetahui apakah telah terjadi kebocoran, untuk mengetahui kondisi container dan produk yang sudah kedaluwarsa
      4. Bejana harus dilindungi dari sinar matahari langsung
      5. Terdapat Rambu peringatan untuk sumber bahaya dan kebakaran yang terjadi dari bahan baku, seperti alarm.
-



## **BAB VIII**

### **INSTRUMENTASI DAN PENGENDALIAN PROSES**

#### **VIII.1 Pendahuluan**

Instrumentasi merupakan sistem dan susunan yang dipakai di dalam suatu proses kontrol untuk mengatur jalannya proses agar diperoleh hasil sesuai dengan yang diharapkan. Di dalam suatu pabrik kimia, pemakaian instrumen merupakan suatu hal yang penting karena dengan adanya rangkaian instrumen tersebut maka operasi semua peralatan yang ada di dalam pabrik dapat dimonitor dan dikontrol dengan cermat, mudah dan efisien. Dengan demikian, kondisi operasi selalu berada dalam kondisi yang diharapkan (*Ulrich, 1984*).

Operasi pada industri kimia sangat bergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses. Beberapa besaran proses yang harus diukur dan dikendalikan pada suatu proses industri, misalnya aliran (*flow*), tekanan (*pressure*), suhu (*temperature*), tinggi permukaan (*level*), dan konsentrasi.

Tujuan dari pemasangan alat instrumentasi bagi perencanaan suatu pabrik adalah sebagai berikut :

1. Untuk menjaga suatu proses instrumentasi agar tetap aman, yaitu dengan cara :
  - a. Mendeteksi adanya kondisi yang berbahaya sedini mungkin, dan membuat tanda-tanda bahaya secara *interlock* otomatis jika kondisi kritis muncul.
  - b. Menjaga variabel-variabel proses berada pada batas kondisi yang aman.
2. Menjaga jalannya suatu proses produksi agar sesuai dengan yang dikehendaki.
3. Menekan biaya produksi serendah mungkin dengan tetap memperhatikan faktor-faktor yang lainnya atau efisiensi kerja.
4. Menjaga kualitas agar tetap berada dalam standar yang telah ditetapkan.
5. Memperoleh hasil kerja yang efisien.



6. Membantu dalam keselamatan kerja bagi pekerja dan karyawan pabrik.

Dalam pengendalian proses, terdapat dua macam variabel pengendalian proses.

1. Variabel *input*

- a. Variabel manipulasi

Jika nilai variabel dapat diatur dengan bebas oleh operator atau mekanisme pengendalian

- b. Variabel gangguan

Jika nilai variabel tidak dapat diatur oleh operator atau sistem pengendalian tetapi merupakan gangguan

2. Variabel *output*

- a. Variabel yang dapat diukur

Jika variabel dapat diketahui dengan pengukuran langsung

- b. Variabel yang tidak dapat diukur

Jika variabel tidak dapat diketahui dengan pengukuran langsung

Suatu sistem pengendalian proses terdiri atas beberapa unit komponen, antara lain :

1. Sensor/ *transducer*, berfungsi menghasilkan informasi tentang besaran yang diukur.
2. *Transmitter*, berfungsi mengubah sinyal yang berasal dari alat ukur menjadi bentuk sinyal yang dapat diterima oleh indikator, *recorder*, dan kontroler.
3. *Indicator*, berfungsi memberikan indikasi secara terus menerus variabel proses yang diukur.
4. *Recorder*, berfungsi menerima sinyal dari *transmitter* dan merekam secara terus menerus satu atau lebih dari variabel proses.
5. *Controller*, berfungsi memperoleh input informasi dari alat ukur, membandingkan dengan *set point*, menghitung banyaknya koreksi yang diperlukan sesuai dengan algoritmanya dan memutuskan untuk mengeluarkan sinyal koreksi untuk ditransmisikan ke *control valve*.



6. *Converter*, berfungsi mengubah besar sinyal tertentu menjadi besaran sinyal lain.
7. *Actuator*, merupakan bagian dari *control valve* yang menjadi penggerak untuk mengatur pergerakan batang
8. katup *valve* yang dihubungkan dengan *plug* untuk mengatur aliran melalui *control valve* tersebut.
9. *Control valve* merupakan elemen pengendali akhir yang melaksanakan tindakan yang diperintahkan *controller*.

Tabel VIII.1 Identifikasi instrumen

Parameter yang diukur	Tipe indicator atau kontroler	Tipe komponen	Tipe sinyal
F = <i>flow</i> T = <i>temperature</i> P = <i>pressure</i> L = <i>level</i>	R = <i>recorder</i> I = <i>indicator</i> C = <i>controller</i>	T = <i>transmitter</i> E = <i>element</i> A = <i>alarm</i>	I = <i>current</i> P = <i>pneumatic</i>

### VIII.2 Metode dan Jenis Instrumentasi

Metode pengontrolan yang sering digunakan dalam pabrik industri kimia dapat dilakukan dengan berbagai cara, yang antara lain adalah sebagai berikut :

1. Secara manual  
Alat ukur ini dikontrol oleh manusia, hanya berdasarkan pada pengamatan saja. Cara ini kurang baik karena ketelitian dari manusia yang terbatas
2. Secara otomatis  
Alat pengontrol secara otomatis ini ada bermacam-macam cara pengontrolannya, antara lain :
  1. Sistem *on-off control*
  2. Sistem *proportional*
  3. Sistem *proportional integral*
  4. Sistem *proportional integral derivative*



Alat-alat kontrol yang banyak digunakan dalam bidang industri adalah :

1. Pengatur suhu
  - a. *Temperature Indicator* ( TI )  
Fungsi : untuk mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis temperatur indikator antara lain : termometer, termokopel
  - b. *Temperatur Controller* ( TC )  
Fungsi : mengendalikan atau mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
2. Pengaturan Tekanan (*pressure*)
  - a. *Pressure Indicator* (PI)  
Fungsi : untuk mengetahui tekanan operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis *pressure* indikator antara lain : *pressure gauge*
  - b. *Pressure Controlller* (PC)  
Fungsi : mengendalikan atau mengatur tekanan operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
3. Pengatur aliran (*flow*)
  - a. *Flow Controller* (FC)  
Fungsi : Menunjukkan dan mengendalikan laju suatu aliran dalam suatu peralatan seperti yang telah ditetapkan. Jenis *flow controller* yaitu *Control valve*.
4. Pengaturan tinggi permukaan (*level*) :
  - a. *Level indicator* (LI)  
Fungsi : menunjukkan tinggi permukaan fluida pada suatu cairan.
  - b. *Level Indicator Control* (LIC)  
Sebagai alat penunjukkan untuk mengetahui ketinggian operasi dan untuk mengendalikan atau mengatur level operasi agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan



### VIII.3 Instrumentasi dalam Pabrik Amil Alkohol

Berikut ini macam-macam instrumentasi yang digunakan di pabrik Amil Alkohol

**Tabel VIII.2** Sistem Control di Pabrik Amil Alkohol

No.	Nama Alat/ Aliran	Kode Alat	Instrumentasi
1.	Tangki penyimpanan pentana	F-111	<i>Level control (LC)</i>
2.	Aliran umpan reaktor		<i>Flow control (FC)</i>
3.	Reaktor	R-210	<i>Temperature control (TC)</i>
4.	Kolom distilasi	D-320	<i>Level control (LC)</i>

## **BAB IX**

### **PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA**

Menurut Undang-undang pemerintah Republik Indonesia nomor 32 tahun 2009 menjelaskan bahwa Limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah bahan berbahaya dan beracun, yang selanjutnya disebut Limbah B3, adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Bahan berbahaya dan beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.

Pengelolaan limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan. Kewajiban untuk melakukan pengelolaan B3 merupakan upaya untuk mengurangi terjadinya kemungkinan risiko terhadap lingkungan hidup yang berupa terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup, mengingat B3 mempunyai potensi yang cukup besar untuk menimbulkan dampak negatif. Pengolahan limbah dapat dilakukan dengan melaksanakan konsep 4R, yaitu:

- *Reduce*, minimalisasi sampah dari sumber
- *Reuse*, memanfaatkan kembali limbah
- *Recovery*, melakukan upaya untuk perolehan kembali bahan-bahan yang berguna.
- *Recycle*, melakukan pemrosesan sehingga menghasilkan produk lainnya

Pengendalian pencemaran akan membawa dampak positif bagi lingkungan karena akan menyebabkan kesehatan masyarakat yang lebih baik, kenyamanan hidup lingkungan sekitar yang lebih tinggi, kerusakan materi yang rendah, dan yang penting adalah kerusakan lingkungan yang rendah. Faktor utama yang harus diperhatikan dalam pengendalian pencemaran ialah karakteristik



dari pencemar dan hal tersebut bergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa yang dibebaskan ke lingkungan, kondisi geografis sumber pencemar, dan kondisi meteorologis lingkungan. Pada industri kimia umumnya menghasilkan 3 jenis limbah yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah gas.

Dalam Pabrik Amil Alkohol, limbah yang dihasilkan dari proses produksi yaitu :

1. Limbah Gas

Limbah gas yang dihasilkan dari pabrik Amil Alkohol yaitu limbah HCl dan sedikit Amil Kloride yang merupakan gas sisa pada Flash Tank dan Kolom Amil Khloride.

2. Limbah cair

Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik Amil Alkohol berasal dari:

- a. *Bottom* Kolom Amil Dikhloride :  
Amil Dikhloride, HCl dan Amil Khloride
- b. Dekanter :  
Air dan Natrium Khlorida (NaCl)
- c. *Top Product* Kolom Amil Alkohol :  
Amil Alkohol dan Amilen

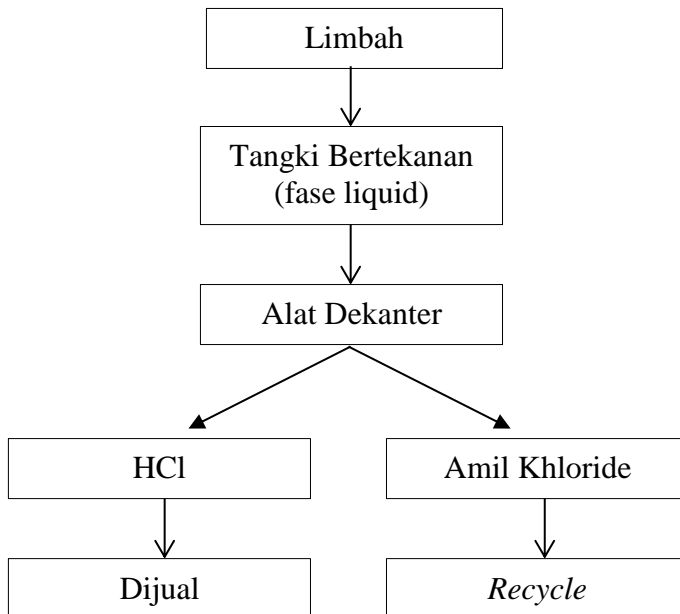
Penanganan limbah pada Pabrik Amil Alkohol

1. Limbah Gas

Limbah gas pada Pabrik Amil Alkohol yang berasal dari gas sisa pada Flash Tank dan Kolom Amil Khloride yaitu HCl dan Amil Khloride akan ditampung pada tangki penampungan bertekanan untuk mengubah fase limbah gas menjadi fase liquid agar mempermudah pemisahan limbah pada tahap selanjutnya. Berdasarkan perbedaan sifat fisik dan kimia antara komponen HCl dan Amil Khloride pada tabel diatas, maka limbah dapat dipisahkan dengan cara dekantasi menggunakan alat dekanter dengan prinsip kerja memisahkan campuran dengan perbedaan densitas dan kelarutan. Pemisahan



secara mekanik dilakukan untuk tujuan meminimalisir biaya operasional dalam pengolahan limbah di pabrik Amil Alkohol ini. Hasil pemisahan limbah antara HCl dan Amil Kloride tahap selanjutnya untuk HCl akan di jual dan untuk Amil Khlorde akan di *recycle* yang digunakan sebagai bahan intermediate dalam reaksi pembentukan Amil Alkhol untuk memperoleh produk Amil Alkohol dalam jumlah yang lebih besar.



**Gambar IX.1** Diagram Pengolahan Limbah Gas

## 2. Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan di Pabrik Amil Alkohol yaitu Amil Dikhlorde, HCl dan Amil Khlorde, Air, Natrium Khlorda dan Amilen. Limbah cair yang berasal dari tiap-tiap proses pada pembuatan Amil Alkohol ditampung dalam tangki yang kemudian akan diolah





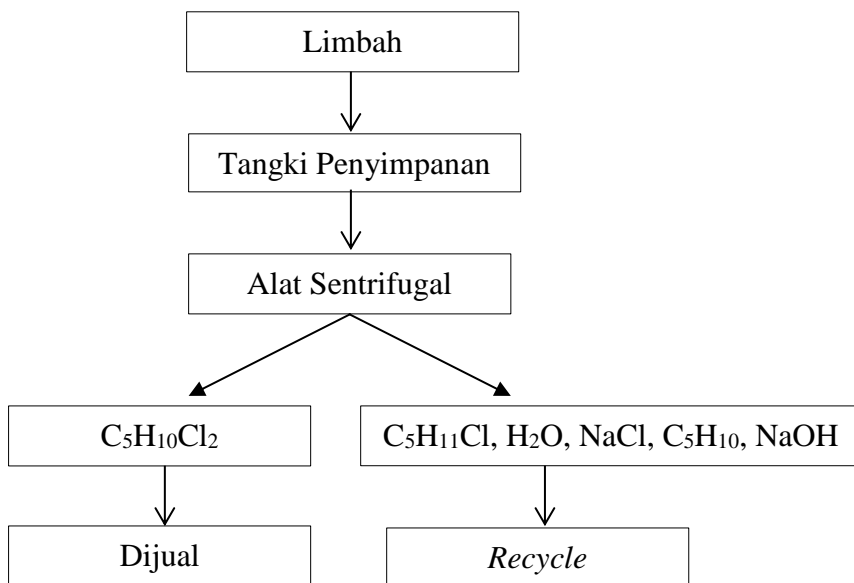
dengan cara pemisahan yang melalui dua tahapan yaitu pemisahan secara mekanik dan elektrik. Untuk tahap awal campuran limbah cair dipisahkan secara mekanik dengan cara dekantasi menggunakan alat dekanter dengan prinsip kerja memisahkan campuran dengan perbedaan densitas dan kelarutan. Untuk mendapatkan hasil pemisahan campuran yang maksimal maka tahapan selanjutnya untuk pengolahan limbah cair yaitu dengan memisahkan campuran secara elektrik dengan cara sentrifugasi menggunakan alat sentrifugal dengan prinsip kerja memisahkan dengan gaya sentrifugal.

Pemisahan secara mekanik pada tahap awal dilakukan untuk tujuan meminimalkan biaya operasional dalam pengolahan limbah cair karena tidak menggunakan alat dengan penggerak motorik untuk memisahkan limbah cair yang dihasilkan dan juga membantu mengurangi kerja alat sentrifugal agar tidak membutuhkan energi yang besar untuk memisahkan limbah cair di Pabrik Amil Alkohol ini.

Setelah setiap bahan limbah cair terpisah, kemudian mereaksikan kembali bahan-bahan tersebut sehingga menjadi bahan baku yang bisa digunakan kembali dalam proses pembuatan Amil Alkohol, reaksi-reaksi tersebut yaitu:

- a.  $C_5H_{10} + H_2O \rightarrow C_5H_{11}OH$
- b.  $NaCl + H_2O \rightarrow NaOH + HCl$
- c.  $C_5H_{11}Cl + NaOH \rightarrow C_5H_{11}OH + HCl$

Untuk sisa-sisa senyawa yang tidak digunakan dapat diperdagangkan untuk mendapatkan benefit bagi Pabrik Amil Alkohol.



**Gambar IX.2** Diagram Pengolahan Limbah Liquid

## **BAB X**

### **KESIMPULAN**

Dari uraian proses pembuatan pabrik Amil alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses klorinasi ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

**1. Rencana Operasi**

Pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin ini direncanakan beroperasi secara semi kontinyu selama 330 hari operasi/tahun dan 24 jam/hari.

**2. Kapasitas**

Kapasitas pabrik Amil alkohol dari Pentana dan Klorin ini adalah 7.500 ton/tahun = 22.723 kg/hari Amil alkohol dengan kandungan Amil alkohol sebesar 99 %.

**3. Bahan Baku dan Bahan Pendukung**

Bahan baku yang digunakan adalah Pentana dan Klorin. Bahan pendukung yang digunakan adalah NaOH dan katalis Asam oleat.

**4. Proses**

Pembuatan Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan proses Klorinasi ini dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

- a) Tahap penyiapan bahan baku
- b) Tahap pembentukan produk (klorinasi dan hidrolisis)
- c) Tahap pemurnian produk (fraksinasi)

**5. Utilitas**

Total jumlah air yang dibutuhkan Pabrik Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin ini sebesar 158,97 m<sup>3</sup>/hari.

## APPENDIKS A

### PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas : 7.500 ton amil alkohol/tahun  
               : 22,72723 ton amil alkohol/hari  
               : 22.727,23 kg amil alkohol/hari  
 Operasi : 330 hari/tahun, 24 jam/hari  
 Satuan massa : kg  
 Basis waktu : 1 hari

Untuk kapasitas 22,727 ton amil alkohol/hari, dibutuhkan bahan baku amil alkohol ( $C_5H_{12}$ ) sebanyak 20.329 kg pentana/hari dan klorin ( $Cl_2$ ) sebanyak 20.197 kg klorin/hari dengan data komposisi sebagai berikut :

**Tabel A.1** Komposisi Bahan Baku

No	Komponen	Bahan Baku (kg)
1	$C_5H_{12}$	20.329
2	$Cl_2$	20.197
	Total	40.527

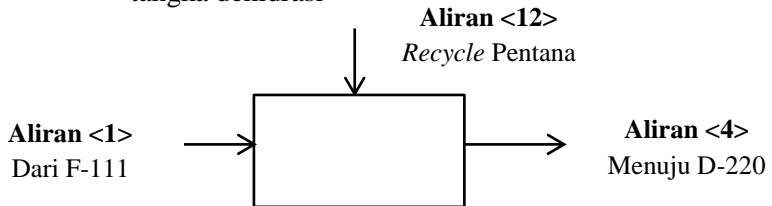
**Tabel A.2** Tabel Berat Molekul

No	Senyawa	Berat Molekul
1	$C_5H_{12}$	72,15
2	HCl	36,5
3	$C_5H_{11}Cl$	106,6
4	$C_5H_{10}Cl_2$	141
5	$Cl_2$	71
6	$C_5H_{11}OH$	88,14
7	$C_5H_{10}$	70,13
8	NaCl	58,5
9	NaOH	39,99
10	$H_2O$	18,01

## I. Tahap Pre-Treatment

### I.1 Make Up Tank

Fungsi: untuk menambahkan *recycle* Pentana agar dapat memenuhi kebutuhan Pentana yang hilang di tangka dehidrasi



Keterangan Aliran:

<1> 100% Pentana masuk ke

<12> *Recycle* pentane dari kolom destilasi (D-230)

<4> Pentana masuk ke reaktor

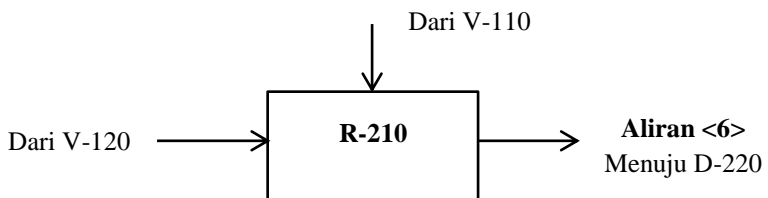
**Tabel A.3** Komposisi Make Up Tank

Aliran Masuk			Aliran Keluar		
Komponen	Massa (Kg)	Massa (Kmol)	Komponen	Massa (Kg)	Massa (Kmol)
<Aliran 1>			<Aliran 5>		
$C_5H_{12}$	20329,285	281,768	$C_5H_{12}$	21595,069	299,313
<Recycle dari Aliran 12>					
$C_5H_{12}$	1265,783	17,544			
<b>TOTAL</b>	<b>21595,069</b>	<b>299,313</b>	<b>Total</b>	<b>21595,069</b>	<b>299,313</b>

## II. Tahap Pemurnian

### II.1 Reaktor

Fungsi: untuk mereaksikan pentana dan klorin sehingga menghasilkan amil kloride

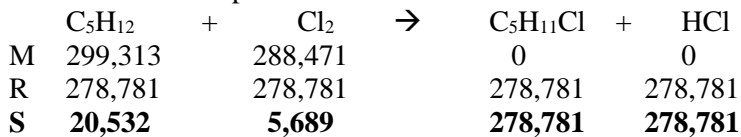


## Keterangan Aliran:

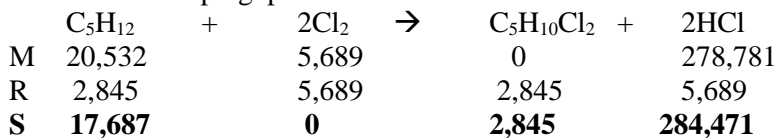
- Pentana masuk dari *Pentane Vaporizer* (V-110) ke reaktor
- Klorin masuk dari *Chlorine Vaporizer* (V-120) ke reaktor
- <6> Pentana, HCl, Amil Kloride dan Amil dikhloride masuk ke *flash tank*

- Konversi pada amil kloride sebesar 98%

- Reaksi utama pada reaktor:



- Reaksi samping pada reaktor:

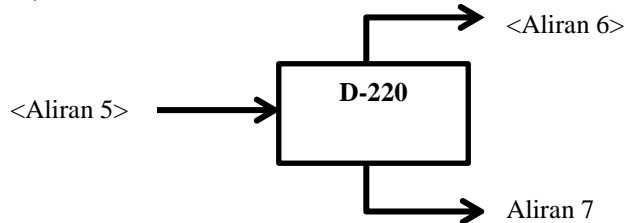


Tabel A.4 Neraca massa komponen reaktor

Komponen	Aliran Masuk			Aliran Keluar		
	kmol	Fraksi massa	kg	kmol	Fraksi massa	kg
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	299,313	0,517	21595,06	17,687	0,031	1276,109
HCL	0	0	0	284,471	0,249	10385,43
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0	0	0	278,781	0,711	29729,45
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0	0	0	2,845	0,010	401,482
Cl <sub>2</sub>	284,471	0,483	20197,40	0	0	0
<b>total</b>	<b>583,784</b>	<b>1</b>	<b>41792,47</b>	<b>583,784</b>	<b>1</b>	<b>41792,47</b>

## II.2 Flash Tank

Fungsi : Memisahkan gas sisa HCl dari produk reaktor (R-210)



Keterangan aliran :

<5> Masuk dari reaktor

<6> Campuran gas HCl dan minimum pentana, amil khloride, dan amil dikhloride

<7> Aliran pentana, amil khloride, amil dikhloride dan minimum HCl

**Tabel A.5** Komposisi umpan D-220

Komponen	Kg		Kmol	
	<5>		<5>	
	X <sub>5</sub>	M <sub>5</sub>	X <sub>5</sub>	M <sub>5</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0305	1276,108	0,030	17,687
HCl	0,248	10385,433	0,487	284,470
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,711	29729,454	0,477	278,781
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,009	401,481	0,004	2,844
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>41792,478</b>	<b>1</b>	<b>583,783</b>

**Perhitungan tekanan uap dan nilai K****Tabel A.6** Konstanta Antoine

Komponen	Konstanta Antoine		
	A	B	C
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	7	1134,1488	238,678
HCl	7,253	764,8366	259,93
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	7,235	1500,3624	236,74
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	6,686	1406,2162	219,924

Sumber : *Carl L. Yaws*

Tekanan uap komponen dapat dihitung menggunakan Persamaan Antoine:

$$\text{Log}_{10} P^o = A - \frac{B}{t + C}$$

Dimana :    A, B, C                      = konstanta Antoine  
                  P<sup>o</sup>                         = tekanan uap (mmHg)  
                  t                                = temperatur (°C)

Konstanta kesetimbangan uap-cairan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (*Geankoplis, 1993*):

$$K_i = \frac{P_i^o}{P}$$

Dimana:

K<sub>i</sub>            = konstanta kesetimbangan uap-cairan komponen *i*  
 P<sub>i</sub><sup>o</sup>          = tekanan uap murni komponen *i* (mmHg)  
 P             = tekanan total (mmHg)

Kondisi operasi D-220

P = 5 atm = 3800 mmHg

t = 45°C



**Tabel A.7** Tekanan uap dan nilai K komponen pada D-220

Komponen	log Po	Po (mmHg)	K
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3,011	1025,428	0,270
HCl	4,745	55563,981	14,622
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	1,910	81,193	0,021
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	1,378	23,901	0,006

**Perhitungan jumlah uap dan liquida**

Menurut Seader & Henley (2006), jumlah uap dan liquida hasil pemisahan dalam *flash tank* dapat dihitung melalui persamaan :

$$f(\psi) = \sum_{i=1}^C \frac{z_i (1 - K_i)}{1 + \psi (K_i - 1)} = 0$$

Untuk  $\psi = \frac{V}{Y}$ , dimana  $K_i = K_i(T_v, P_v)$  dan  $z_i$  adalah fraksi mol komponen  $i$ . Jumlah uap dan liquida dihitung melalui persamaan:

$$V = F \psi$$

$$L = F - V$$

Dengan memasukkan data pada persamaan di atas, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$0 = \frac{0,03 (1-0,27)}{1 + \psi (0,27-1)} + \frac{0,487 (1-14,622)}{1 + \psi (14,622-1)} + \frac{0,477 (1-0,021)}{1 + \psi (0,021-1)} + \frac{0,004 (1-0,006)}{1 + \psi (0,006-1)}$$

Untuk mencari nilai  $\psi$  dilakukan trial dengan menggunakan metode Secant dan didapatkan nilai  $\psi$  sebesar 0,467

$$\begin{aligned} V \text{ (M6)} &= F \psi \\ &= 583,783 \text{ kmol} \times 0,467 \\ &= 272,342 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L \text{ (M7)} &= F - V \\ &= (583,783 - 272,342) \text{ kmol} \\ &= 311,422 \text{ kmol} \end{aligned}$$

**Perhitungan fraksi mol komponen dalam uap dan liquida**

Menurut Seader & Henley (2006), fraksi mol komponen dalam uap dan liquida dapat dihitung melalui persamaan :

$$x_i = \frac{z_i}{1 + \psi (K_i - 1)}$$

$$y_i = x_i K_i$$

Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan fraksi mol masing-masing komponen sebagai berikut:

**Tabel A.8** Fraksi mol komponen pada D-220

Komponen	xi7	yi6
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,046	0,012
HCl	0,066	0,969
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,879	0,019
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,009	0,000
Total	1	1

**Tabel A.9** Massa komponen dalam uap pada D-220

Komponen	<6>	
	Kmol	Kg
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3,377	243,635
HCl	263,836	9632,123
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	5,113	545,278
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,016	2,196
<b>TOTAL</b>	<b>272,342</b>	<b>10423,231</b>

**Tabel A.10** Massa komponen dalam liquida pada D-220

Komponen	<7>	
	Kmol	Kg
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	14,310	1032,474
HCl	20,634	753,311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	273,668	29184,176
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2,829	399,285
<b>TOTAL</b>	311,442	31369,247

**Tabel A.11** Fraksi massa komponen D-220

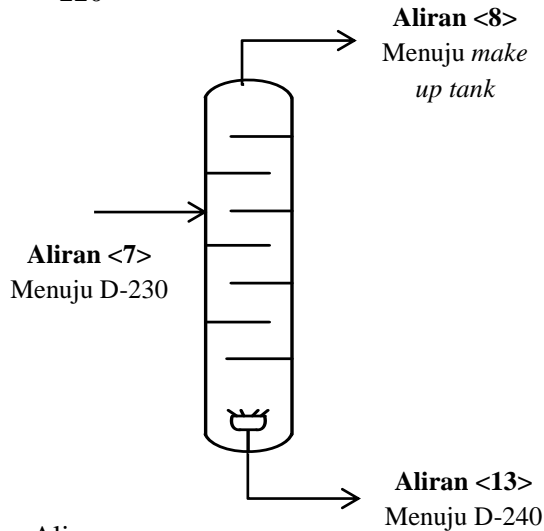
Komponen	Masuk	Keluar	
	<5>	<6>	<7>
	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,031	0,023	0,033
HCl	0,249	0,924	0,024
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,711	0,052	0,930
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,010	0,000	0,013
<b>TOTAL</b>	1	1	1

**Tabel A.12** Neraca massa D-220

Komponen	Masuk	Keluar	
	<5>	<6>	<7>
	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1276,109	243,635	1032,474
HCl	10385,434	9632,123	753,311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	29729,454	545,278	29184,176
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	401,482	2,196	399,285
<b>TOTAL</b>	41792,478	10423,231	31369,247

### II.3 Kolom Destilasi Amil Khloride (D-230)

Fungsi: untuk memisahkan Pentana ( $C_5H_{12}$ ) dan Asam Klorida (HCl) hasil pemisahan dalam *flash tank* D-220



Keterangan Aliran:

<7> komponen masuk dari reaktor

<8> Distilat kolom Amil Kloride (D-230) untuk di *recycle*

<15> Produk bawah kolom Amil Khloride (D-230) menuju ke kolom Amilen Dikloride (D-230)

**Neraca Massa Total**

$$M_{13} = M_{16} + M_{19}$$

**Tabel A.13** Komposisi umpan D-230

Komponen	Kg		Kmol	
	<7>		<7>	
	$X_7$	$M_7$	$X_7$	$M_7$
$C_5H_{12}$ (LK)	0,033	1032,474	0,046	14,310
HCl	0,024	753,311	0,066	20,634

C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	0,930	29184,176	0,879	273,668
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,013	399,285	0,009	2,829
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>31369,247</b>	<b>1</b>	<b>311,442</b>

• **Perhitungan tekanan uap (P<sup>o</sup>), konstanta kesetimbangan uap-cairan (K<sub>i</sub>), dan *relative volatility* (α<sub>i</sub>)**

Tekanan uap komponen dapat dihitung menggunakan Persamaan Antoine (*Chohey, 2001*) :

$$\text{Log}_{10} P^o = A - \frac{B}{t + C}$$

Dimana :    A, B, C                      = konstanta Antoine  
                   P<sup>o</sup>                         = tekanan uap (mmHg)  
                   t                             = temperatur (°C)

Konstanta kesetimbangan uap-cairan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (*Geankoplis, 1993*):

$$K_i = \frac{P_i^o}{P}$$

Dimana:

K<sub>i</sub> = konstanta kesetimbangan uap-cairan komponen *i*

P<sub>i</sub><sup>o</sup> = tekanan uap murni komponen *i*

P = tekanan total

*Relative volatility* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (*Geankoplis, 1993*):

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_c}$$

Dimana:

$\alpha_i$  = *relative volatility* komponen *i*

K<sub>i</sub> = konstanta kesetimbangan uap-cair komponen *i*

K<sub>c</sub> = konstanta kesetimbangan uap-cair komponen *heavy key*

**Tabel A.14** Konstanta Antoine

Komponen	Konstanta Antoine		
	A	B	C
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	7	1134,1488	238,678
HCl	7,25303	764,8366	259,93
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	7,23486	1500,3624	236,74
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	6,68641	1406,2162	219,924

Sumber : *Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons* (Yaws,2014)

- P Operasi = 5 atm = 3800 mmHg
- Trial T = 45°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>Cl

**Tabel A.15** Penentuan titik didih umpan D-230

Komponen	Log P°	P°	K <sub>i</sub>	$\alpha_i$	$\alpha_i X_{i0}$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	3,011	1025,428	0,270	12,630	0,580
HCl	4,745	55563,981	14,622	684,3	45,341
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	1,910	81,193	0,021	1	0,879
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	1,378	23,901	0,006	0,29	0,003
<b>TOTAL</b>					46,802

$$K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{i0}} = 0,021$$

Trial sesuai karena  $K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{i0}} = 0,021$  sama dengan konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga titik didih umpan = 45°C

- Menentukan komposisi produk destilasi:

Tabel A.16 Komposisi % produk destilasi D-230

	Komponen	Persentase (%)
<i>Top Product</i>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	99
	HCl	99
<i>Bottom Product</i>	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	99
	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	100

Tabel A.17 Komposisi produk destilasi D-230 dalam kmol

Komponen	Keluar (kmol)			
	<8>		<13>	
	X <sub>8</sub>	M <sub>8</sub>	X <sub>13</sub>	M <sub>13</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	0,379	14,167	0,001	0,143
HCl	0,547	20,428	0,001	0,206
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	0,073	2,737	0,988	270,931
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0	0	0,01	2,829
<b>TOTAL</b>	1	37,332	1	274,110

**Perhitungan Dew Point (temperature atas kolom)**

- P Operasi = 5 atm = 3800 mmHg
- Trial T = 92°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>Cl

Tabel A.18 Penentuan titik didih dew point D-230

Komponen	Log P <sup>o</sup>	P <sup>o</sup>	K <sub>i</sub>	$\alpha_i$	$\frac{y^8}{\alpha_i}$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	3,579	3794,478	0,999	8,096	0,047
HCl	5,080	120161,839	31,622	256,381	0,002
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	2,671	468,685	0,123	1,000	0,073
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2,178	150,733	0,040	0,322	0,000
<b>TOTAL</b>					0,122

$$K_c = \sum \frac{y_{l1}}{\alpha_i} = 0,122$$

Trial sesuai karena  $K_c = \sum \frac{y_8}{\alpha_i} = 0,122$  mendekati konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga *dew point* = 92°C

### Perhitungan *Bubble Point* (temperature bawah kolom)

- P Operasi = 5 atm = 3800 mmHg
- Trial T = 171°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>Cl

**Tabel A.19** Penentuan titik didih *bubble point* D-230

Komponen	Log P°	P°	K <sub>i</sub>	α <sub>i</sub>	α <sub>i</sub> X <sub>13</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	4,241	17399,197	4,579	4,846	0,003
HCl	5,478	300731,461	79,140	83,757	0,063
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	3,555	3590,511	0,945	1,000	0,988
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	3,089	1228,146	0,323	0,342	0,004
<b>TOTAL</b>					1,058

$$K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{13}} = 0,945$$

Trial sesuai karena  $K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{13}} = 0,945$  mendekati konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga *bubble point* = 171°C

### Perhitungan jumlah *stage* minimum

Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah *stage* minimum adalah Persamaan Fenske (*Geankoplis, 2003*):

$$N_m = \frac{\text{Log} \left( \frac{X_{LD}}{X_{HD}} \frac{D}{D} \right) \left( \frac{X_{HW}}{X_{LW}} \frac{W}{W} \right)}{\text{Log} \sqrt{\alpha_{LD} \alpha_{LW}}}$$



Dimana :

$N_m$  = jumlah *stage* minimum

$X_{LD} D$  = jumlah mol *light key* (pentana) dalam distilat = 14,167 kmol

$X_{HD} D$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam distilat = 2,737 kmol

$X_{HW} W$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam produk bawah = 270,931 kmol

$X_{LW} W$  = jumlah mol *light key* (pentana) dalam produk bawah = 0,143 kmol

$\alpha_{LD}$  = *light key* pada distilat = 8,096

$\alpha_{LW}$  = *light key* pada produk bawah = 4,846

Berdasarkan data-data tersebut, dapat dihitung  $N_m$  dan didapatkan  $N_m$  sebesar 5,009

### **Perhitungan Distribusi Komponen**

Persamaan yang digunakan untuk menentukan distribusi komponen adalah sebagai berikut:

$$\left( \frac{X_{iD} D}{X_{iW} W} \right) = (\alpha_{i,av}) \left( \frac{X_{HD} D}{X_{HW} W} \right)$$

Dimana :

$X_{HD} D$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam distilat

$X_{HW} W$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam produk bawah

$X_{iD} D$  = jumlah mol komponen *i* dalam distilat

$X_{iW} W$  = jumlah mol komponen *i* dalam produk bawah

$\alpha_{i,av}$  = rata-rata komponen *i*

$N_m$  = jumlah *stage* minimum

**Tabel A.20** Tabel perhitungan  $\frac{X_{iD} D}{X_{iW} W}$  kolom D-230

Komponen	$\alpha_{i,(av)}$	$(\alpha_{i,(av)})^{Nm}$	$\frac{X_{HD} D}{X_{HW} W}$	$\frac{X_{iD} D}{X_{iW} W}$
			0,01	
HCl	146,639	70669936090,2		713837738,3
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,332	0,004		4,014. 10 <sup>-5</sup>

Membuat neraca massa total untuk komponen  $i$

$$x_{iF} \cdot F = x_{iD} \cdot D + x_{iW} \cdot W$$

(dengan cara substitusi  $x_{iD} \cdot D = a \cdot x_{iW} \cdot W$  didapatkan  $x_{iD} \cdot D$ )

**Tabel A.21** Penentuan distribusi komponen

Komponen	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>13</sub>
HCl	20,634	20,634	2,8906 . 10 <sup>-8</sup>
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2,829	0,00011	2,829

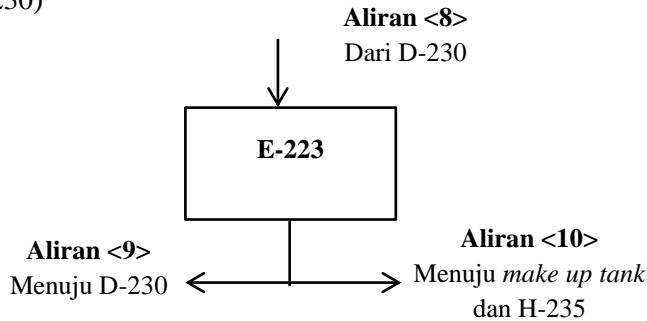
Karena nilai yang terlalu kecil, maka asumsi benar.

**Tabel A.22** Neraca massa D-230

Komponen	Masuk		Keluar			
	<7>		<8>		<13>	
	X <sub>7</sub>	M <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	M <sub>8</sub>	X <sub>13</sub>	M <sub>13</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,033	1032,474	0,494	1022,149	0	10,325
HCl	0,024	753,311	0,364	753,311	0	0,000
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,930	29184,176	0,141	291,842	0,986	28892,335
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,013	399,285	0,000	0,016	0,014	399,269
TOTAL	1	31369,247	1	2067,318	1	29301,929
	31369,247		31369,247			

## II.4 Kondensor

Fungsi: Mengondensasikan uap dari kolom amil kloride (D-230)



Keterangan Aliran:

<8> Uap yang keluar dari kolom amil kloride (D-230)

<9> Refluks yang dikembalikan ke dalam kolom amil kloride (D-220)

<10> Hasil distilat dari kolom amil kloride (D-230) untuk di-recycle

### Neraca Massa Total

$$M_8 = M_9 + M_{10}$$

Banyaknya produk atas yang dikembalikan ke dalam kolom distilasi (refluks) dapat diketahui melalui *reflux ratio* (R).

### Perhitungan *minimum reflux ratio* (R<sub>m</sub>)

Metode yang digunakan adalah metode singkat Underwood.

*Dew point* (temperatur atas kolom) = 92°C

*Bubble point* (temperatur bawah kolom) = 171°C

*Average temperature* = 131,5°C

P operasi = 5 atm = 3800

mmHg

Komponen *light key* adalah pentana dan *heavy key* adalah amil kloride

**Tabel A.23** Perhitungan nilai K dan  $\alpha$  pada 131,5°C

Komponen	log P <sup>o</sup>	P <sup>o</sup>	Ki	$\alpha_i$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	3,945	8813,064	2,319	6,091
HCl	5,299	199101,721	52,395	137,604
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	3,160	1446,923	0,381	1
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2,685	484,094	0,127	0,335
<b>Total</b>	<b>15,090</b>	<b>209845,802</b>	<b>55,223</b>	<b>145,029</b>

**Trial  $\theta$** 

$$1 - q = \sum \frac{\alpha_i x_i F}{\alpha_i - \theta}$$

Dimana  $q = 1$  karena umpan masuk pada *boiling point*

Nilai  $\theta$  dapat dicari melalui trial  $\theta$  antara  $\alpha_{LK}$  dan  $\alpha_{HK}$  yaitu antara 1 – 6,091

**Tabel A.24** Trial nilai  $\theta$  antara 1-6,091

$\theta$	4,54	5,5
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	0,180	0,474
HCl	0,069	0,069
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	-0,248	-0,195
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	-0,001	-0,001
<b>Total</b>	0,00002	0,347

Didapatkan nilai  $\theta$  yang mendekati 0 adalah 4,54. Nilai  $\theta$  tersebut digunakan untuk menghitung Rm.

$$Rm + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_i D}{\alpha_i - \theta}$$

**Tabel A.25** Perhitungan (Rm + 1) kolom D-230

Komponen	Rm+1
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	1,482
HCl	0,568
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	-0,021
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,000
<b>Total</b>	2,030

$$Rm + 1 = 2,03$$

Sehingga **Rm = 1,03**

Perhitungan *reflux ratio* (R)

**R optimum = 1,2 – 1,5 Rm (Geankoplis, 1993)**

R = 1,5 x Rm

R = 1,5 x 1,03

R = 1,545

Diketahui hasil distilat D-230 sebanyak 37,322 kmol, sehingga dapat dihitung refluks melalui *reflux ratio*.

Refluks = Distilat x R

Refluks = 57,662 kmol

**Tabel A.26 Neraca massa (kg)**

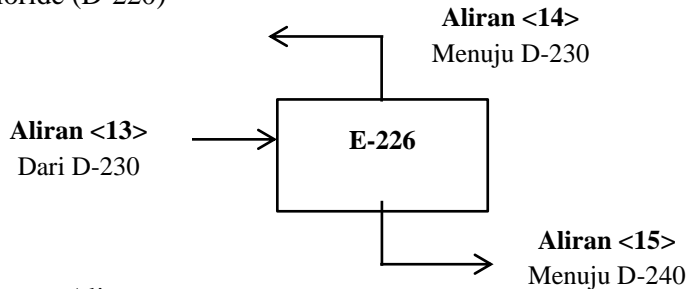
Komponen	Masuk	Keluar	
	<8>	<9>	<10>
	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	2601,454	1579,304	1022,149
HCl	1917,238	1163,927	753,311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	742,761	450,919	291,842
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,041	0,025	0,016
<b>TOTAL</b>	5261,493	3194,175	2067,318
	<b>5261,493</b>	<b>5261,493</b>	

**Tabel A.27 Neraca massa (kmol)**

Komponen	Masuk	Keluar	
	<8>	<9>	<10>
	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	36,057	21,890	14,167
HCl	52,516	31,881	20,634
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	6,965	4,228	2,737
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,000289035	0,000175469	0,000113566
<b>TOTAL</b>	95,538	58,000	37,538
	<b>95,538</b>	<b>95,538</b>	

## II.5 Reboiler

Fungsi: Memanaskan kembali produk bawah kolom amil kloride (D-220)



Keterangan Aliran:

<13> Produk bawah masuk *reboiler* dari kolom amil kloride

<14> Uap yang dikembalikan ke dalam kolom amil kloride

<15> Hasil produk bawah dari kolom amil kloride (D-220) menuju kolom amilen dikloride (D-240)

### Neraca Massa Total

$$M_{13} = M_{14} + M_{15}$$

Menurut Ludwig (1964), jumlah kmol uap pada bagian *stripping* yang dikembalikan ke dalam kolom dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\frac{V_r - V_s}{F} = 1 - q$$

Karena  $q = 1$ , maka persamaan menjadi:

$$V_s = V_r - (F - Fq)$$

Dimana :

$V_s$  = jumlah kmol uap pada bagian *stripping*

$V_r$  = jumlah kmol uap pada bagian *rectifying*

$$V_s = V_r$$

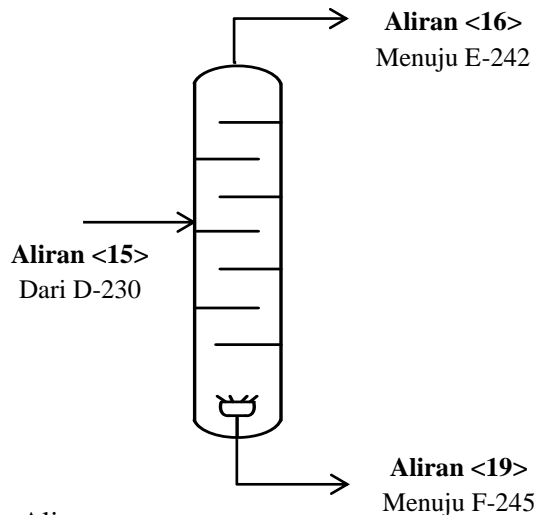
Diketahui  $V_r = 95,538 \text{ kmol} = V_s$

**Tabel A.28** Neraca massa (kg) E-234

Komponen	Masuk	Keluar	
	<13>	<14>	<15>
	$M_{13}$	$M_{14}$	$M_{15}$
$C_5H_{12}$ (LK)	12,179	1,854	10,325
HCl	0,0000012	0,000	0,000001
$C_5H_{11}Cl$ (HK)	34080,281	5187,946	28892,335
$C_5H_{10}Cl_2$	470,963	71,693	399,269
<b>TOTAL</b>	34563,422	5261,493	29301,929
	<b>34563,422</b>	<b>34563,422</b>	

## II.6 Kolom Destilasi Amilen Dikloride (D-240)

Fungsi: untuk memisahkan Amil Kloride ( $C_5H_{11}Cl$ ) dari campuran pada kolom D-230



Keterangan Aliran:

<15> komponen masuk dari D-230

<16> Distilat kolom Amil Dikloride (D-240) menuju ke *preheater* untuk proses selanjutnya (R-310)

<19> Produk bawah kolom amilen dikloride (D-240) menuju tangki penampungan amil kloride (F-245)

$$\text{Neraca Massa Total}$$

$$M_{15} = M_{16} + M_{19}$$

Tabel A.29 Komposisi umpan D-240

Komponen	Kg		Kmol	
	<15>		<15>	
	X <sub>15</sub>	M <sub>15</sub>	X <sub>15</sub>	M <sub>15</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0003	10,325	0,001	0,143
HCl	3,6.10 <sup>-11</sup>	1,05 . 10 <sup>-6</sup>	1,05. 10 <sup>-08</sup>	2,89 . 10 <sup>-8</sup>
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	0,986	28892,335	0,989	270,931
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	0,014	399,269	0,010	2,829
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>28433,6151</b>	<b>1</b>	<b>265,77</b>

- Perhitungan tekanan uap (P<sup>o</sup>), konstanta kesetimbangan uap-cairan (K<sub>i</sub>), dan *relative volatility* (α<sub>i</sub>)

Tekanan uap komponen dapat dihitung menggunakan Persamaan Antoine (*Chohey, 2001*) :

$$\text{Log}_{10} P^o = A - \frac{B}{t + C}$$

Dimana :    A, B, C                      = konstanta Antoine  
                  P<sup>o</sup>                         = tekanan uap (mmHg)  
                  t                              = temperatur (°C)

Konstanta kesetimbangan uap-cairan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (*Geankoplis, 1993*):

$$K_i = \frac{P_i^o}{P}$$

Dimana:

K<sub>i</sub> = konstanta kesetimbangan uap-cairan komponen *i*

P<sub>i</sub><sup>o</sup> = tekanan uap murni komponen *i*

P = tekanan total



*Relative volatility* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Geankoplis, 1993):

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_c}$$

Dimana:

$\alpha_i$  = *relative volatility* komponen *i*

$K_i$  = konstanta kesetimbangan uap-cair komponen *i*

$K_c$  = konstanta kesetimbangan uap-cair komponen *heavy key*

**Tabel A.30** Konstanta Antoine

Komponen	Konstanta Antoine		
	A	B	C
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	7	1134,1488	238,678
HCl	7,25303	764,8366	259,93
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	7,23486	1500,3624	236,74
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	6,68641	1406,2162	219,924

Sumber : *Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons* (Yaws,2009)

- P Operasi = 4,7 atm = 3572 mmHg
- Trial T = 171°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>Cl dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>Cl<sub>2</sub>

**Tabel A.31** Penentuan titik didih umpan D-240

Komponen	Log P <sup>o</sup>	P <sup>o</sup>	K <sub>i</sub>	$\alpha_i$	$\alpha_i X_{i5}$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	4,241	17399,197	4,871	14,167	0,007
HCl	5,478	300731,461	84,191	244,866	0,000
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	3,555	3590,511	1,005	2,924	2,892
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	3,089	1228,146	0,344	1	0,010
<b>TOTAL</b>					2,91

$$K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{i4}} = 0,344$$

Trial sesuai karena  $K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{i4}} = 0,344$  sama dengan konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga titik didih umpan = 171°C

- **Menentukan komposisi produk destilasi:**

**Tabel A.32** Komposisi % produk destilasi D-240

	<b>Komponen</b>	<b>Persentase (%)</b>
<b>Top Product</b>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	100
	HCl	100
	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	99
<b>Bottom Product</b>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	99

**Tabel A.33** Komposisi produk destilasi D-240

<b>Komponen</b>	<b>Keluar (kmol)</b>			
	<16>		<19>	
	<b>X<sub>16</sub></b>	<b>M<sub>16</sub></b>	<b>X<sub>19</sub></b>	<b>M<sub>19</sub></b>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,001	0,143	0	0
HCl	1,077 · 10 <sup>-10</sup>	0	0	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	0,999	268,222	0,492	2,709
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	0,0001	0,028	0,508	2,801
<b>TOTAL</b>	1	268,393	1	5,510

**Perhitungan Dew Point (temperature atas kolom)**

- P Operasi = 4,7 atm = 3572 mmHg
- Trial T = 171,5°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>Cl dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>Cl<sub>2</sub>

**Tabel A.34** Penentuan titik didih *dew point* D-240

<b>Komponen</b>	<b>Log P°</b>	<b>P°</b>	<b>K<sub>i</sub></b>	<b>α<sub>i</sub></b>	$\frac{y_{i6}}{\alpha_i}$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	4,244	17534,922	4,909	14,127	3,77 · 10 <sup>-05</sup>
HCl	5,480	302159,187	84,591	243,439	4,42 · 10 <sup>-13</sup>
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	3,560	3627,965	1,016	2,923	0,342

C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	3,094	1241,209	0,347	1,000	0,0001
<b>TOTAL</b>					0,342

$$K_c = \sum \frac{y_i^{16}}{\alpha_i} = 0,342$$

Trial sesuai karena  $K_c = \sum \frac{y_i^{16}}{\alpha_i} = 0,342$  mendekati konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga *dew point* 171,5°C

### Perhitungan *Bubble Point* (temperature bawah kolom)

- P Operasi = 4,7 atm = 3572 mmHg
- Trial T = 191,5°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>Cl dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>Cl<sub>2</sub>

**Tabel A.35** Penentuan titik didih *bubble point* D-240

Komponen	Log P°	P°	K <sub>i</sub>	α <sub>i</sub>	α <sub>i</sub> X <sub>19</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	4,372	23575,235	6,6	12,705	0
HCl	5,559	362057,102	101,36	195,115	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	3,731	5386,479	1,508	2,903	1,427
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	3,268	1855,605	0,519	1	0,508
<b>TOTAL</b>					1,936

$$K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{19}} = 0,517$$

Trial sesuai karena  $K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{19}} = 0,517$  mendekati konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga *bubble point* = 191,5°C

### Perhitungan jumlah *stage* minimum

Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah *stage* minimum adalah Persamaan Fenske (*Geankoplis, 2003*):

$$N_m = \frac{\text{Log} \left( \frac{X_{LD}}{X_{HD}} \frac{D}{D} \right) \left( \frac{X_{HW}}{X_{LW}} \frac{W}{W} \right)}{\text{Log} \sqrt{\alpha_{LD} \alpha_{LW}}}$$

Dimana :

$N_m$  = jumlah *stage* minimum

$X_{LD} D$  = jumlah mol *light key* (amil kloride) dalam distilat  
268,222 kmol

$X_{HD} D$  = jumlah mol *heavy key* (amilen dikloride) dalam distilat  
0,028 kmol

$X_{HW} W$  = jumlah mol *heavy key* (amilen dikloride) dalam produk  
bawah 2,801 kmol

$X_{LW} W$  = jumlah mol *light key* (amil kloride) dalam produk  
bawah 2,709 kmol

$\alpha_{LD}$  = *light key* pada distilat = 2,923

$\alpha_{LW}$  = *light key* pada produk bawah = 2,903

Berdasarkan data-data tersebut, dapat dihitung  $N_m$  dan didapatkan  $N_m$  sebesar 8,596

### Perhitungan Distribusi Komponen

Persamaan yang digunakan untuk menentukan distribusi komponen adalah sebagai berikut:

$$\left( \frac{X_{iD} D}{X_{iW} W} \right) = (\alpha_{i,av}) \left( \frac{X_{HD} D}{X_{HW} W} \right)$$

Dimana :

$X_{HD} D$  = jumlah mol *heavy key* (amilen dikloride) dalam distilat

$X_{HW} W$  = jumlah mol *heavy key* (amilen dikloride) dalam produk  
bawah

$X_{iD} D$  = jumlah mol komponen *i* dalam distilat

$X_{iW} W$  = jumlah mol komponen *i* dalam produk bawah

$\alpha_{i,av}$  = rata-rata komponen *i*

$N_m$  = jumlah *stage* minimum

**Tabel A.36** Tabel perhitungan  $\frac{X_{iD} \cdot D}{X_{iW} \cdot W}$  kolom D-240

Komponen	$\alpha_{i,(av)}$	$(\alpha_{i,av})^{Nm}$	$\frac{X_{HD} \cdot D}{X_{HW} \cdot W}$	$\frac{X_{iD} \cdot D}{X_{iW} \cdot W}$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	13,397	4872857892,4	0,000105	513957,552
HCl	217,942	$1,25982 \cdot 10^{20}$		$1,32 \cdot 10^{16}$

Membuat neraca massa total untuk komponen  $i$

$$x_{iF} \cdot F = x_{iD} \cdot D + x_{iW} \cdot W$$

(dengan cara substitusi  $x_{iD} \cdot D = a \cdot x_{iW} \cdot W$  didapatkan  $x_{iD} \cdot D$ )

**Tabel A.37** Penentuan distribusi komponen

Komponen	M <sub>15</sub>	M <sub>16</sub>	M <sub>19</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,143	0,143	$2,78434 \cdot 10^{-7}$
HCl	$2,8906 \cdot 10^{-08}$	$2,89 \cdot 10^{-08}$	$2,17538 \cdot 10^{-24}$

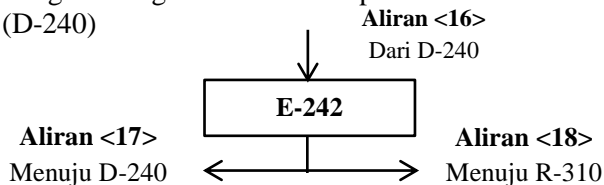
Karena nilai yang terlalu kecil, maka asumsi benar.

**Tabel A.38** Neraca massa D-240

Komponen	Masuk		Keluar			
	<15>		<16>		<19>	
	X <sub>15</sub>	M <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	M <sub>16</sub>	X <sub>19</sub>	M <sub>19</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0003	10,325	0,00036	10,325	$2,93 \cdot 10^{-8}$	$2,008 \cdot 10^{-5}$
HCl	$3,6 \cdot 10^{-11}$	$1,05 \cdot 10^{-06}$	$3,687 \cdot 10^{-11}$	$1,05 \cdot 10^{-06}$	$1,16 \cdot 10^{-25}$	$7,94 \cdot 10^{-23}$
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,986	28892,335	0,999	28603,411	0,422	288,923
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,014	399,269	0,000139	3,993	0,578	395,277
TOTAL	1	29301,929	1	28617,729	1	684,200
	29301,929		29301,929			

## II.7 Kondensor

Fungsi: Mengondensasikan uap dari kolom amil dikloride (D-240)



Keterangan Aliran:

<16> Uap yang keluar dari kolom amilen dikloride (D-240)

<17>Refluks yang dikembalikan ke dalam kolom amilen dikloride (D-240)

<18>Hasil distilat dari kolom amilen dikloride (D-240) untuk di lanjutkan ke proses selanjutnya (R-310)

**Neraca Massa Total**

$$M_{16} = M_{17} + M_{18}$$

Banyaknya produk atas yang dikembalikan ke dalam kolom distilasi (refluks) diketahui melalui *reflux ratio* (R).

**Perhitungan *minimum reflux ratio* (R<sub>m</sub>)**

Metode yang digunakan adalah metode singkat Underwood.

*Dew point* (temperatur atas kolom) = 171,5°C

*Bubble point* (temperatur bawah kolom) = 191,5°C

*Average temperature* = 181,5°C

P operasi = 4,7 atm = 3572

mmHg

Komponen *light key* adalah pentana dan *heavy key* adalah amil kloride

**Tabel A.39** Perhitungan nilai K dan  $\alpha$  pada 181,5°C

Komponen	log P°	P°	Ki	$\alpha_i$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	4,310	20403,735	5,712	13,377
HCl	5,520	331433,238	92,786	217,298
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (LK)	3,648	4441,565	1,243	2,912
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> (HK)	3,183	1525,248	0,427	1
<b>Total</b>				234,587

**Trial  $\theta$**

$$1 - q = \sum \frac{\alpha_i x_i F}{\alpha_i - \theta}$$

Dimana q = 1 karena umpan masuk pada *boiling point*

Nilai  $\theta$  dapat dicari melalui trial  $\theta$  antara  $\alpha_{LK}$  dan  $\alpha_{HK}$  yaitu antara 1 - 2,9

**Tabel A.40** Trial nilai  $\theta$  antara 1-2,87

$\theta$	<b>1,007</b>	<b>1,150</b>
$C_5H_{12}$	0,001	0,001
HCl	0,000	0,000
$C_5H_{11}Cl$ (LK)	1,512	1,635
$C_5H_{10}Cl_2$ (HK)	-1,512	-0,069
Total	0,000	1,566

Didapatkan nilai  $\theta$  yang mendekati 0 adalah 1,007. Nilai  $\theta$  tersebut digunakan untuk menghitung  $R_m$ .

$$R_m + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_i D}{\alpha_i - \theta}$$

**Tabel A.41** Perhitungan  $(R_m + 1)$  kolom D-240

Komponen	$R_m+1$
$C_5H_{12}$ (LK)	0,00011781
HCl	8,3723E-14
$C_5H_{11}Cl$ (HK)	1,539575395
$C_5H_{10}Cl_2$	-0,000153969
<b>Total</b>	<b>1,539539237</b>

$$R_m + 1 = 1,513$$

Sehingga  **$R_m = 0,513$**

Perhitungan *reflux ratio* (R)

**$R_{\text{optimum}} = 1,2 - 1,5 R_m$  (Geankoplis, 1993)**

$$R = 1,5 \times R_m$$

$$R = 1,5 \times 0,513$$

$$R = 0,769$$

Diketahui hasil distilat D-320 sebanyak 268,393 kmol, sehingga dapat dihitung refluks melalui *reflux ratio*.

$$\text{Refluks} = \text{Distilat} \times R$$

$$\text{Refluks} = 206,394 \text{ kmol}$$

**Tabel A.42** Neraca massa (Kmol) E-242

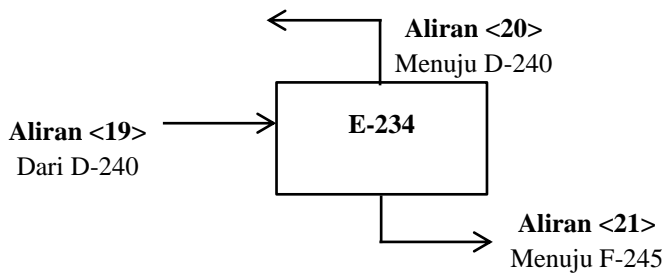
Komponen	Masuk	Keluar	
	<16>	<17>	<18>
	M <sub>16</sub>	M <sub>17</sub>	M <sub>18</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	0,253	0,110	0,143
HCl	$5,113 \cdot 10^{-08}$	$2,22 \cdot 10^{-08}$	$2,89 \cdot 10^{-08}$
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	474,471	206,249	268,222
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,05	0,022	0,028
TOTAL	474,774	206,381	268,393
	<b>474,774</b>	<b>474,774</b>	

**Tabel A.43** Neraca massa (Kg) E-242

Komponen	Masuk	Keluar	
	<16>	<17>	<18>
	M <sub>16</sub>	M <sub>17</sub>	M <sub>18</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (LK)	18,264	7,939	10,325
HCl	0,000	$8,114 \cdot 10^{-07}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl (HK)	50597,967	21994,555	28603,411
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	7,063	3,070	3,993
TOTAL	50623,293	22005,565	28617,729
	<b>50623,293</b>	<b>50623,293</b>	

## II.8 Reboiler

Fungsi: Memanaskan kembali produk bawah kolom amilen dikloride (D-240)





Keterangan Aliran:

<19> Produk bawah masuk *reboiler* dari kolom amilen dikloride

<20> Uap yang dikembalikan ke dalam kolom amilen dikloride

<21> Hasil produk bawah dari kolom amilen dikloride yang akan disimpan pada tangki penampung (F-245)

### Neraca Massa Total

$$M_{19} = M_{20} + M_{21}$$

Menurut Ludwig (1964), jumlah kmol uap pada bagian *stripping* yang dikembalikan ke dalam kolom dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\frac{V_r - V_s}{F} = 1 - q$$

Karena  $q = 1$ , maka persamaan menjadi:

$$V_s = V_r - (F - Fq)$$

Dimana :

$V_s$  = jumlah kmol uap pada bagian *stripping*

$V_r$  = jumlah kmol uap pada bagian *rectifying*

$$V_s = V_r$$

Diketahui  $V_r = 476,138$  kmol

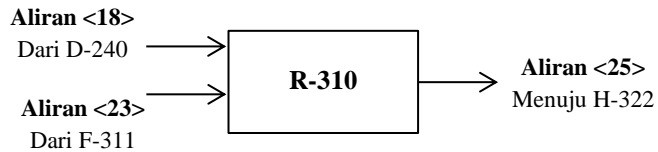
**Tabel A.44** Neraca massa E-234

Komponen	Masuk	Keluar	
	<20>	<21>	<22>
	$M_{20}$	$M_{21}$	$M_{22}$
$C_5H_{12}$ (LK)	0,002	0,001	$7,94187 \cdot 10^{-23}$
HCl	$6,03495 \cdot 10^{-21}$	$5,87611 \cdot 10^{-21}$	288,923
$C_5H_{11}Cl$ (HK)	21955,002	21377,155	395,277
$C_5H_{10}Cl_2$	30036,690	29246,137	684,2
TOTAL	51991,694	50623,293	1368,4
	<b>51991,694</b>	<b>51991,694</b>	

### III. Tahap Hidrolisis

#### III.1 Reaktor (R-310)

Fungsi : Mereaksikan campuran amil klorid dan natrium hidroksida membentuk amil alkohol dan amilen dengan bantuan katalis natrium oleat.



Keterangan aliran :

<18> Campuran hasil distilat amil klorid, natrium hidroksida, dan komponen lainnya

<23> Larutan reagen Asam Oleat dari tangki penyimpanan

<25> Hasil reaksi dari reaktor (R-310)

Jenis katalis yang digunakan adalah katalis natrium oleat.

Konversi reaksi utama : 97%

#### Reaksi utama

Na-Oleat

$$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{NaOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}_{(\text{aq})} + \text{NaCl}_{(\text{aq})}$$

M	268,222	267,635	670,848	0	0
R	259,606	259,606	0	259,606	259,606
S	8,616	8,029	670,848	259,606	259,606

Konversi reaksi samping : 100%

#### Reaksi samping

$$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{NaOH}_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{C}_5\text{H}_{10}(\text{aq}) + \text{NaCl}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$$

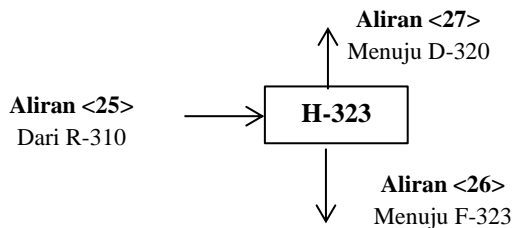
M	8,616	8,029	0	259,606	670,848
R	8,029	8,029	8,029	8,029	8,029
S	0,587	0	8,029	267,635	678,878

**Tabel A.45** Neraca massa komponen reaktor

Komponen	Masuk	Keluar
	<18>	<25>
	Kg	Kg
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	10,325	10,325
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> CL	28603,411	62,611
NaOH	10704,627	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	0	22883,775
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0	563,100
H <sub>2</sub> O	12085,523	12230,169
HCL	$1,0553 \cdot 10^{-06}$	$1,0553 \cdot 10^{-06}$
NaCl	0	15653,906
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> CL <sub>2</sub>	3,993	3,993
<b>TOTAL</b>	51407,879	51407,879

### III.2 Dekanter (H-322)

Fungsi : Untuk memisahkan pentana, amil klorid, amil dikhloride, amil alkohol, dan amilen sebagai top produk dengan air, asam klorida, natrium hidroksida, dan natrium klorida sebagai bottom produk dari campuran yang keluar dari reaktor (R-310) berdasarkan massa jenis dan kelarutannya.



Keterangan aliran :

<25> Campuran hasil reaksi dari reaktor (R-310)

<27> Produk atas dekanter pentana, amil klorid, amil dikhloride, amil alkohol, dan amilen

<26> Produk bawah dekanter air, asam klorida, natrium hidroksida, dan natrium klorida

**Tabel A.46** Densitas dan Produk Komponen

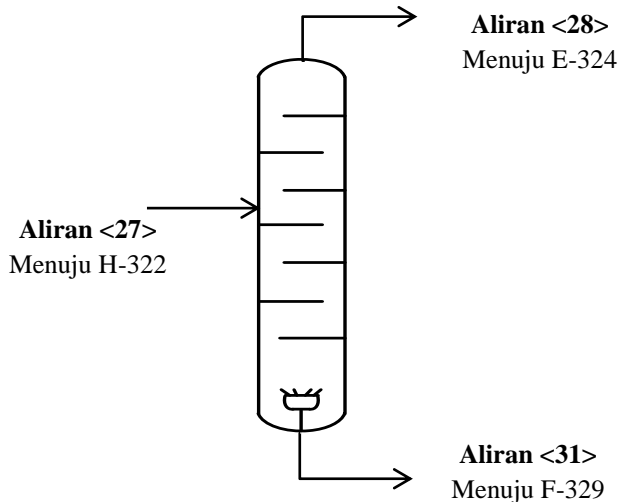
Komponen	Densitas	Produk
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,625	Atas
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,8144	Atas
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	0,814	Atas
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0,853	Atas
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,866	Atas
H <sub>2</sub> O	1	Bawah
HCl	1,19	Bawah
NaOH	2,13	Bawah
NaCl	2,165	Bawah

**Tabel A.47** Neraca Massa Dekanter (H-323)

Komponen	Masuk		Komponen	Keluar	
	Kmol	Kg		Kmol	Kg
<b>Aliran &lt;25&gt;</b>			<b>Aliran &lt;37&gt;</b>		
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,143	10,325	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,00043	10,325
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,587	62,611	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0,003	62,611
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	259,606	22883,775	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	0,973	22883,7
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	8,029	563,100	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0,024	563,1
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,028	3,993	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,000169	3,993
H <sub>2</sub> O	678,878	12230,169	<b>Aliran &lt;26&gt;</b>		
HCl	$1,055 \cdot 10^{-6}$	$2,89 \cdot 10^{-8}$	H <sub>2</sub> O	679,4	12240,87
NaOH	0	0	HCl	$2,89 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$
NaCl	267,635	15653,906	NaOH	0	0
			NaCl	267,635	15653,9
<b>Total</b>	1214,906	51407,879	<b>Total</b>	1215,49	51418,58

### III.3 Kolom Amil Alkohol (D-320)

Fungsi: untuk memisahkan Amilen ( $C_5H_{10}$ ) dari campuran komponen hasil produk atas dekanter (H-321)



Keterangan Aliran:

<27> campuran komponen dari decanter (H-321)

<28> Distilat kolom Amil Alkohol (D-320) ditampung dalam tangki penyimpanan amilen

<31> Produk bawah kolom Amil Alkohol (D-320) menuju ke tangki penyimpanan Amil Alkohol (F-329)

#### Neraca Massa Total

$$M_{27} = M_{28} + M_{31}$$

**Tabel A.48** Komposisi umpan D-320

Komponen	Kg		Kmol	
	<27>		<27>	
	$X_{27}$	$M_{27}$	$X_{27}$	$M_{27}$
$C_5H_{12}$	0,0004	10,325	0,001	0,143
$C_5H_{10}$ (LK)	0,024	563,100	0,030	8,029
$C_5H_{11}Cl$	0,003	62,611	0,002	0,587

Komponen	Kg		Kmol	
	<27>		<27>	
	X <sub>27</sub>	M <sub>27</sub>	X <sub>27</sub>	M <sub>27</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0,0001	3,993	0,0001	0,028
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH (HK)	0,973	22883,775	0,967	259,606
<b>Total</b>	1	23523,804	1	268,393

- **Perhitungan tekanan uap (P<sup>o</sup>), konstanta kesetimbangan uap-cairan (K<sub>i</sub>), dan *relative volatility* (α<sub>i</sub>)**

Tekanan uap komponen dapat dihitung menggunakan Persamaan Antoine (*Chohey, 2001*) :

$$\text{Log}_{10} P^o = A - \frac{B}{t + C}$$

Dimana :    A, B, C                      = konstanta Antoine  
                   P<sup>o</sup>                         = tekanan uap (mmHg)  
                   t                              = temperatur (°C)

Konstanta kesetimbangan uap-cairan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (*Geankoplis, 1993*):

$$K_i = \frac{P_i^o}{P}$$

Dimana:

K<sub>i</sub>            = konstanta kesetimbangan uap-cairan komponen *i*  
 P<sub>i</sub><sup>o</sup>          = tekanan uap murni komponen *i*  
 P             = tekanan total

*Relative volatility* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (*Geankoplis, 1993*):

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_c}$$

Dimana:

$\alpha_i$  = *relative volatility* komponen  $i$

Ki = konstanta kesetimbangan uap-cair komponen  $i$

Kc = konstanta kesetimbangan uap-cair komponen *heavy key*

**Tabel A.49** Konstanta Antoine

Komponen	Konstanta Antoine		
	A	B	C
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	7	1134,1488	238,678
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> (LK)	6,98455	1124,367	243,136
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	7,23486	1500,3624	236,74
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	6,68641	1406,2162	219,924
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH (HK)	7,21542	1333,4601	169,781

Sumber : *Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons* (Yaws,2014)

- P Operasi = 1 atm = 760 mmHg
- Trial T = 126°C
- Komponen *light key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>10</sub> dan *heavy key* adalah C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>OH

**Tabel A.50** Penentuan titik didih umpan D-320

Komponen	Log P°	P°	K <sub>i</sub>	$\alpha_i$	$\alpha_i X_{26}$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3,899	7923,5	10,426	15,551	0,008
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> (LK)	3,939	8681,7	11,423	17,039	0,510
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	3,099	1255,06	1,651	2,463	0,005
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2,621	418,12	0,550	0,821	0,000
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH (HK)	2,707	509,5	0,670	1,000	0,967
<b>TOTAL</b>					1,491

$$Kc = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{26}} = 0,67$$

Trial sesuai karena  $Kc = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{26}} = 0,67$  sama dengan konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga titik didih umpan = 126°C

- Menentukan komposisi produk destilasi:

Tabel A.51 Komposisi % produk destilasi D-320

	Komponen	Persentase (%)
<i>Top Product</i>	$C_5H_{12}$	100
	$C_5H_{10}$ (LK)	99,99
<i>Bottom Product</i>	$C_5H_{11}Cl$	100
	$C_5H_{10}Cl_2$	100
	$C_5H_{11}OH$ (HK)	99,99

Tabel A.52 Komposisi produk destilasi D-320

Komponen	Keluar			
	<28>		<31>	
	X <sub>28</sub>	Kg	X <sub>31</sub>	kg
$C_5H_{12}$	0,013	10,325	0	0
$C_5H_{10}$ (LK)	0,700	557,46	0,00024	5,631
$C_5H_{11}Cl$	0	0	0,003	62,611
$C_5H_{10}Cl_2$	0	0	0,00017	3,993
$C_5H_{11}OH$ (HK)	0,287	228,838	0,997	22654,93
<b>TOTAL</b>	1	796,632	1	22727,17

#### Perhitungan Dew Point (temperature atas kolom)

- P Operasi = 1 atm = 760 mmHg
- Trial T = 102°C
- Komponen *light key* adalah  $C_5H_{10}$  dan *heavy key* adalah  $C_5H_{11}OH$

Tabel A.53 Penentuan titik didih dew point D-320

Komponen	Log P°	P°	K <sub>i</sub>	$\alpha_i$	$\frac{y_{26}}{\alpha_i}$
$C_5H_{12}$	3,685	4838,443	6,366	23,262	0,001
$C_5H_{10}$ (LK)	3,732	5389,049	7,091	25,910	0,029
$C_5H_{11}Cl$	2,812	648,849	0,854	3,120	0
$C_5H_{10}Cl_2$	2,325	211,360	0,278	1,016	0
$C_5H_{11}OH$ (HK)	2,318	207,995	0,274	1	0,243
<b>TOTAL</b>					0,272



$$K_c = \sum \frac{y_i^{26}}{\alpha_i} = 0,272$$

Trial sesuai karena  $K_c = \sum \frac{y_i^{26}}{\alpha_i} = 0,272$  mendekati konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga *dew point* = 102°C

### Perhitungan *Bubble Point* (temperature bawah kolom)

- P Operasi = 1 atm = 760 mmHg
- Trial T = 137,5°C
- Komponen *light key* adalah  $C_5H_{10}$  dan *heavy key* adalah  $C_5H_{11}OH$

**Tabel A.54** Penentuan titik didih *bubble point* D-220

Komponen	Log P°	P°	K <sub>i</sub>	$\alpha_i$	$\alpha_i X_{31}$
$C_5H_{12}$	3,994	9862,661	12,977	13,126	0
$C_5H_{10}$ (LK)	4,031	10730,832	14,120	14,281	0,004
$C_5H_{11}Cl$	3,226	1681,777	2,213	2,238	0,005
$C_5H_{10}Cl_2$	2,752	565,069	0,744	0,752	$8,25 \cdot 10^{-5}$
$C_5H_{11}OH$ (HK)	2,876	751,404	0,989	1	0,997
<b>TOTAL</b>					1,007

$$K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{14}} = 0,99$$

Trial sesuai karena  $K_c = \frac{1}{\sum \alpha_i X_{31}} = 0,99$  mendekati konstanta kesetimbangan uap-cairan *heavy key*, sehingga *bubble point* = 137,5°C

### Perhitungan jumlah *stage* minimum

Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah *stage* minimum adalah Persamaan Fenske (*Geankoplis, 2003*):

$$N_m = \frac{\log \left( \frac{X_{LD} D}{X_{HD} D} \right) \left( \frac{X_{HW} W}{X_{LW} W} \right)}{\log \sqrt{\alpha_{LD} \alpha_{LW}}}$$

Dimana :

$N_m$  = jumlah *stage* minimum

$X_{LD} D$  = jumlah mol *light key* (pentana) dalam distilat 7,949 kmol

$X_{HD} D$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam distilat 2,596 kmol

$X_{HW} W$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam produk bawah = 257,01 kmol

$X_{LW} W$  = jumlah mol *light key* (pentana) dalam produk bawah 0,08 kmol

$\alpha_{LD}$  = *light key* pada distilat = 25,91

$\alpha_{LW}$  = *light key* pada produk bawah = 14,281

Berdasarkan data-data tersebut, dapat dihitung  $N_m$  dan didapatkan  $N_m$  sebesar 3,108

### Perhitungan Distribusi Komponen

Persamaan yang digunakan untuk menentukan distribusi komponen adalah sebagai berikut:

$$\left( \frac{X_{iD} D}{X_{iW} W} \right) = (\alpha_{i,av}) \left( \frac{X_{HD} D}{X_{HW} W} \right)$$

Dimana :

$X_{HD} D$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam distilat

$X_{HW} W$  = jumlah mol *heavy key* (amil kloride) dalam produk bawah

$X_{iD} D$  = jumlah mol komponen *i* dalam distilat

$X_{iW} W$  = jumlah mol komponen *i* dalam produk bawah

$\alpha_{i,av}$  = rata-rata komponen *i*

$N_m$  = jumlah *stage* minimum

**Tabel A.55** Tabel perhitungan  $\frac{X_{iD} D}{X_{iW} W}$  kolom D-340

Komponen	$\alpha_{i,av}$	$(\alpha_{i,av})^{N_m}$	$\frac{X_{HD} D}{X_{HW} W}$	$\frac{X_{iD} D}{X_{iW} W}$
$C_5H_{12}$	17,474	7270,885	0,01	73,443
$C_5H_{11}Cl$	2,642	20,495		0,207
$C_5H_{10}Cl_2$	0,874	0,658		0,007

Membuat neraca massa total untuk komponen  $i$

$$\mathbf{x_{iF} \cdot F = x_{iD} \cdot D + x_{iW} \cdot W}$$

(dengan cara substitusi  $x_{iD}$ .  $D = a$   $x_{iW}$ .  $W$  didapatkan  $x_{iD}$ .  $D$ )

**Tabel A.56** Penentuan distribusi komponen

Komponen	$M_{27}$	$M_{28}$	$M_{31}$
$C_5H_{12}$	0,143	0,141	0,002
$C_5H_{11}Cl$	0,587	0,101	0,486
$C_5H_{10}Cl_2$	0,028	0,000	0,028

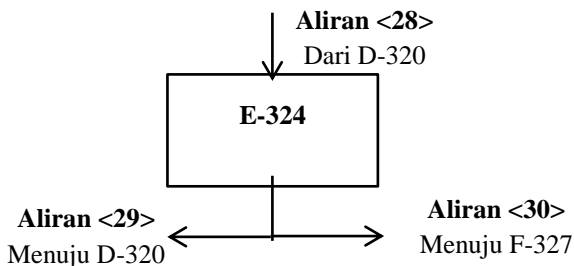
Karena nilai yang terlalu kecil, maka asumsi benar.

**Tabel A.57** Neraca massa D-340

Komponen	Masuk		Keluar			
	<27>		<28>		<31>	
	$X_{27}$	$M_{27}$	$X_{28}$	$M_{28}$	$X_{31}$	$M_{36}$
$C_5H_{12}$	0,0004	10,325	0,013	10,186	$6,1 \cdot 10^{-06}$	0,139
$C_5H_{10}$ (LK)	0,024	563,100	0,700	557,469	0,0002	5,631
$C_5H_{11}Cl$	0,003	62,611	0	0	0,003	62,611
$C_5H_{10}Cl_2$	0,00016	3,993	$3,3 \cdot 10^{-05}$	0,026	0,00017	3,966
$C_5H_{11}OH$ (HK)	0,973	22883,7	0,287	228,838	0,997	22654,9
TOTAL	1	23523,8	1,000	796,519	1,000	22727,28
	23523,804		23523,804			

### III.4 Kondensor

Fungsi: Mengondensasikan uap dari kolom amil kloride (D-320)



Keterangan Aliran:

<28> Uap yang keluar dari kolom amil alkohol (D-320)

<29> Refluks yang dikembalikan ke dalam kolom amil alkohol

<30> Amilen dari kolom amil alkohol di simpan di F-327

**Neraca Massa Total**

$$M_{28} = M_{29} + M_{30}$$

Banyaknya produk atas yang dikembalikan ke dalam kolom distilasi (refluks) pada aliran 9 dapat diketahui melalui *reflux ratio* (R).

**Perhitungan *minimum reflux ratio* (R<sub>m</sub>)**

Metode yang digunakan adalah metode singkat Underwood.

*Dew point* (temperatur atas kolom) = 102,5°C

*Bubble point* (temperatur bawah kolom) = 137,5°C

*Average temperature* = 120°C

P operasi = 1 atm = 760 mmHg

Komponen *light key* adalah amilen dan *heavy key* adalah amil alkohol

**Tabel A.58** Perhitungan nilai K dan  $\alpha$  pada 120°C

Komponen	log P°	P°	Ki	$\alpha_i$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3,847	7029,024	9,249	17,104
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> (LK)	3,888	7731,794	10,173	18,814
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	3,029	1069,304	1,407	2,602
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2,550	354,450	0,466	0,862
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH (HK)	2,614	410,967	0,541	1

**Trial  $\theta$**

$$1 - q = \sum \frac{\alpha_i x_i F}{\alpha_i - \theta}$$

Dimana q = 1 karena umpan masuk pada titik didih

Nilai  $\theta$  dapat dicari melalui trial  $\theta$  antara  $\alpha_{LK}$  dan  $\alpha_{HK}$  yaitu antara 1 – 18

**Tabel A.59** Trial nilai  $\theta$  antara 1-18

$\theta$	12,300	12,201
$C_5H_{12}$	0,002	0,002
$C_5H_{10}$ (LK)	0,086	0,085
$C_5H_{11}Cl$	-0,001	-0,001
$C_5H_{10}Cl_2$	0,000	0,000
$C_5H_{11}OH$ (HK)	-0,086	-0,086
<b>Total</b>	0,002	0,00001605

Didapatkan nilai  $\theta$  yang mendekati 0 adalah 12,201. Nilai  $\theta$  tersebut digunakan untuk menghitung  $R_m$ .

$$R_m + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_i D}{\alpha_i - \theta}$$

**Tabel A.60** Perhitungan  $(R_m + 1)$  kolom D-320

Komponen	$R_m+1$
$C_5H_{12}$	0,046
$C_5H_{10}$ (LK)	2,116
$C_5H_{11}Cl$	0,000
$C_5H_{10}Cl_2$	0,000
$C_5H_{11}OH$ (HK)	-0,022
<b>Total</b>	2,141

$$R_m + 1 = 2,141$$

$$\text{Sehingga } R_m = 1,141$$

Perhitungan *reflux ratio* (R)

$$R_{\text{optimum}} = 1,2 - 1,5 R_m \text{ (Geankoplis, 1993)}$$

$$R = 1,5 \times R_m$$

$$R = 1,5 \times 1,141$$

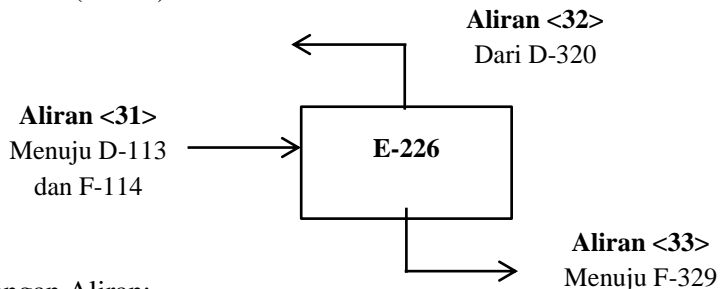
$$R = 1,711$$

**Tabel A.61** Neraca massa E-324

Komponen	Masuk	Keluar	
	<34>	<35>	<36>
	$M_{34}$	$M_{35}$	$M_{36}$
$C_5H_{12}$	27,991	17,666	10,325
$C_5H_{10}$ (LK)	1511,311	953,842	557,469
$C_5H_{11}Cl$	0	0	0,000
$C_5H_{10}Cl_2$	0	0	0,000
$C_5H_{11}OH$ (HK)	620,384	391,546	228,838
TOTAL	<b>2159,685</b>	<b>1363,054</b>	<b>796,632</b>
	<b>2159,685</b>	<b>2159,685</b>	

### III.5 Reboiler

Fungsi: Memanaskan kembali produk bawah kolom amil kloride (D-220)



Keterangan Aliran:

<31> Produk bawah masuk *reboiler* dari kolom amil alkohol

<32> Uap yang dikembalikan ke dalam kolom amil alkohol

<33> Hasil produk bawah dari kolom amil alkohol (D-320) menuju tangki penyimpanan amil alkohol

#### Neraca Massa Total

$$M_{31} = M_{32} + M_{33}$$

Menurut Ludwig (1964), jumlah kmol uap pada bagian *stripping* yang dikembalikan ke dalam kolom dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\frac{V_r - V_s}{F} = 1 - q$$

$$V_s = V_r - (F - Fq)$$

Karena  $q = 1$ , maka persamaan menjadi: Dimana :

$V_s$  = jumlah kmol uap pada bagian *stripping*

$V_r$  = jumlah kmol uap pada bagian *rectifying*

Diketahui  $V_r = 28,975$  kmol

**Tabel A.62** Neraca massa E-326

Komponen	Masuk	Keluar	
	<31>	<32>	<33>
	$M_{31}$	$M_{32}$	$M_{33}$
$C_5H_{12}$	0,152	0,013	0,139
$C_5H_{10}$ (LK)	6,166	0,535	5,631
$C_5H_{11}Cl$	68,561	5,950	62,611
$C_5H_{10}Cl_2$	4,343	0,377	3,966
$C_5H_{11}OH$ (HK)	24807,748	2152,810	22654,937
<b>TOTAL</b>	24886,970	2159,685	22727
	24886,970	24886,970	

## APPENDIKS B

### PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas : 7.500 ton amil alkohol/tahun  
 : 22,72723 ton amil alkohol/hari  
 : 22.727,23 kg amil alkohol/hari  
 Operasi : 330 hari/tahun, 24 jam/hari  
 Satuan panas : kkal  
 Basis waktu : 1 hari

**Tabel B.1** *Heat Capacities Equation of Liquid (J/kmol K)*

Komponen	C1	C2	C3	C4	C5
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1,59. 10 <sup>5</sup>	-270,5	9,95. 10 <sup>-1</sup>	0	0
HCl	4,73. 10 <sup>4</sup>	90	0	0	0
Cl <sub>2</sub>	6,39. 10 <sup>4</sup>	46,35	-1,62. 10 <sup>-1</sup>	0	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	201,2	-651,3	2,275	0	0
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	1,55. 10 <sup>5</sup>	-4,26. 10 <sup>-2</sup>	1,964	-1,80. 10 <sup>-3</sup>	0
H <sub>2</sub> O	2,76. 10 <sup>5</sup>	-2,09. 10 <sup>3</sup>	8,125	-1,41. 10 <sup>-2</sup>	9,37. 10 <sup>-6</sup>

Sumber : Tabel 2-153 Chapter 2 *Chemical Engineers' Handbook*  
(Perry, 1934)

**Tabel B.2** *Heat Capacities Equation of Liquid (Kj/kmol C)*

Simbol	Value
-CH <sub>3</sub>	36,84
-CH <sub>2</sub> -	30,4
-Cl	36,01
I -CH-	20,93

Sumber : Tabel 8-13 (Coulson, 1983)




**Tabel B.3** *Heat Capacities Equation of Gas (J/gmol C)*

Komponen	A	B	C	D
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1,15. 10 <sup>2</sup>	0,3409	-1,9. 10 <sup>-4</sup>	4,226. 10 <sup>-8</sup>
HCl	2,91. 10	-1,34. 10 <sup>-3</sup>	0,000009715	-4,335. 10 <sup>-9</sup>
Cl <sub>2</sub>	3,36. 10	0,01367	-1,61. 10 <sup>-5</sup>	6,473. 10 <sup>-9</sup>
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	7,34. 10	3,93. 10 <sup>-1</sup>	-0,0002554	6,86. 10 <sup>-8</sup>
H <sub>2</sub> O	3,35. 10	6,88. 10 <sup>-3</sup>	0,000007604	-3,59. 10 <sup>-9</sup>

Sumber : Appendix Tabel E-1 *Basic Principles And Calculation In Chemical Engineering* (Himmelblau, 1962)

**Tabel B.4** *Heat Capacity of Gas use Rihani and Doraiswamy Methode*

Simbol	Koefisien			
	a	b	C	d
-CH <sub>3</sub>	0,6087	0,021433	0,00000852	1,135. 10 <sup>-8</sup>
-CH <sub>2</sub> -	0,3945	0,021363	0,00001197	2,596. 10 <sup>-10</sup>
-Cl	3,066	0,002122	-0,00000128	2,76. 10
-OH	6,5128	-0,1347	0,0414	-1,623. 10 <sup>-9</sup>
	-1,4572	0,019147	-0,00001233	2,985. 10 <sup>-9</sup>

Sumber : (Chopey 2003)

**Tabel B.5** *Heat Capacities Equation of Solid (J/kmol)*

Komponen	A	B	D
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	5,526	0,001963	0
HCl	0,121	0,016316	194800

Sumber : (Mc. Grawhill, 7<sup>th</sup> edition)

**Tabel B.6** *Heat of Vaporization (J/kmol)*

Komponen	C1	C2	C3	C4	Tc
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	39109000	0,38681			469,7
HCl	2,2093	0,3466			324,65
Cl <sub>2</sub>	30680000	0,8458	-0,9001	0,453	417,15
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	73900000	-0,1464	1,4751	-0,9208	588,1
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	35.077.000	0,3481	-0,19672	0,22394	464,8
H <sub>2</sub> O	52053000	0,3194	-0,212	0,25795	647,1

Sumber : Tabel 2-153 *Chemical Engineers' Handbook* (Perry, 1934)

**Tabel B.7** *Heat of Vaporization (kJ/mol )*

Komponen	Value
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	38,24
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	43,89

Sumber : Hayness CRC Handbook 6-134 edisi 3

**Tabel B.8** *Heat of Formation (kJ/gmol)*

Komponen	Hf
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-173,1
HCl	-92,311
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	-105,8
H <sub>2</sub> O	-285,84
NaCl	-411

Sumber : Appendiks Tabel F-1 *Basic Principles And Calculation In Chemical Engineering* (Himmelblau, 1962)

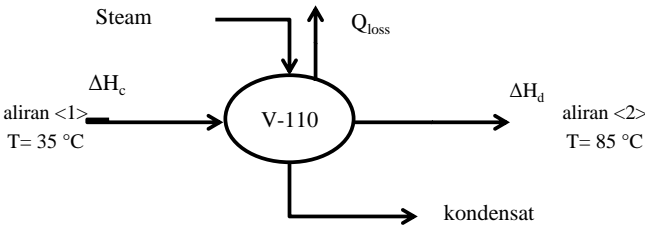
**Tabel B.9** *Heat of Formation (kJ/gmol)*

Komponen	Hf
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	-213,2
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	-351,6

Sumber : Lange'S Handbook Table 6.1

1. Vaporizer (V-110)

Fungsi : mengubah fase benzena liquid menjadi uap



Menghitung  $\int C_p dT$  masing-masing komponen aliran<1>

$T = 35^\circ\text{C}$

$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$

metana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )

$$\begin{aligned} \int C_p dT &= \left[ 1.59 \times 10^5 + (-270.5 T + 9.95 \times 10^{-1} T^2) \right. \\ &\quad \left. + 3.32 \times 10^{-1} ((35^3) - (25^3)) \right] \\ &= 1685.107 \text{ J/kmol} \\ &= 402.7406 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

Panas setiap komponen aliran masuk ( $\Delta H_c$ )

$T_{\text{ref}}$	298	25
$T_{\text{masuk}}$	308	35

Komponen	BM	Massa	n	$\int C_p dT$	( $H_c$ )
		(kg)	(Kmol)	kkal/Kmol	(kkal)
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	72.14878	21595.07	299.313	402.7406	120545.5
Total panas					120546

Heat of Vaporization (kkal/kmol)

$\text{C}_5\text{H}_{12}$	5362.844
---------------------------	----------

umber : Perry

Panas Laten Aliran Keluar

Komponen	BM	Massa	Massa	n	$\Delta H_{\text{vapor}}$
		(kg)	(g)	(Kmol)	kkal
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	72.14878	21595.07		299.313	1605169
Total panas		21595.07			1605169

**Panas Sensibel Aliran Keluar ΔHd**

T ref	25	298				
T	85	358				
Komponen	BM	Massa	Massa	n	∫Cp dT	(ΔHd)
		(kg)	(g)	(Kmol)	kkal/Kmol	(kkal)
C5H12	72.14878	21595.07		299.313	1906.176	5.71E+05
Total panas		21595.07				5.71E+05

Total panas keluar ΔHz adalah	2175712	kkal	supply (5% dari Q supply)
ΔHc	+	(Qsupply)	= ΔHz + Q loss
120546	+	(Qsupply)	= 2175712 + 0.05 Qsupply
0.95		(Qsupply)	= 2055167
		(Qsupply)	= 2163334 kkal
		Qloss	= 108166.7 kkal

**Menghitung massa steam yang dibutuhkan**

steam yang digunakan adalah steam saturated dengan suhu 230°C  
ekanan 2797,6 kPa

T (C)	P (kPa)	Hl (kJ/kg)	Hv	Hv (kkal/k)	Hl (kkal/k)	λ
230	2797.6	990.3	2802	669.678	236.6817	432.9963

Sumber : Geankoplis Appendiks A.2-9

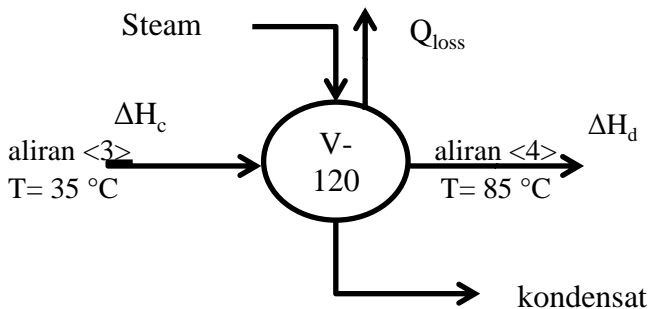
Q	=	m x λ
2163334	=	m x (54,97)
m	=	4996.194 kg

**Neraca Panas Vaporizer**

Masuk		Keluar	
(kkal)		(kkal)	
ΔHc	120546	ΔHd	2175712
Qsupply	2163334	Qloss	108166.7
Total	2283879	Total	2283879

## 2.Vaporizer (V-120)

Fungsi : mengubah fase klorin liquid menjadi uap



### Menghitung $\int C_p dT$ komponen aliran<3>

$T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$        $T_{\text{ref}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Klorin ( $\text{Cl}_2$ )

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= 63936 + 46.35 T + -0.2 T^2 \\
 &= 63936 (35-25) + 23.175 (35^2-25^2) \\
 &\quad + -0.0541 ((35^3)-(25^3)) \\
 &= 630.781 \text{ J/kmol} \\
 &= 150.757 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

### Panas setiap komponen aliran masuk ( $\Delta H_c$ )

$T_{\text{ref}} = 298$        $25$   
 $T_{\text{masu}} = 308$        $35$

Komp.	BM	Massa	n	$\int C_p dT$	( $H_c$ )
		(kg)	(Kmol)	(kkal/Kr)	(kkal)
$\text{Cl}_2$	71	20,197	284.471	150.757	42885.8
Jumlah panas					4.E+04

**Heat of Vaporization (kkal/kmol)**

Cl <sub>2</sub>	3311.34	Sumber : Perry
-----------------	---------	----------------

**Panas Laten Aliran Keluar**

Komp.	BM	Massa	n	ΔH <sub>vapor</sub>
		(kg)	(Kmol)	kkal
Cl <sub>2</sub>	71	20197.4	284.471	941980
Total panas		20197.4		941980

**Panas Sensibel Aliran Keluar ΔH<sub>d</sub>**

T<sub>ref</sub>                25            298

T                    85            358

Komp.	BM	Massa	n	∫C <sub>p</sub> dT	(ΔH <sub>d</sub> )
		(kg)	(Kmol)	(kkal/Kr)	(kkal)
Cl <sub>2</sub>	71	20197.4	284.471	491.859	1.E+05
Total panas		20197.4			1.E+05

Total panas keluar ΔH<sub>z</sub> adalah                                1081899            kkal

Q<sub>loss</sub> = 0,05 Q<sub>supply</sub> (5% dari Q<sub>supply</sub>)

$$\begin{array}{rclclcl}
 \Delta H_c & + & (Q_{\text{supply}}) & = & \Delta H_z & + & Q_{\text{loss}} \\
 42886 & + & (Q_{\text{supply}}) & = & 1.E+06 & + & 0,05 \\
 & & 0.95 (Q_{\text{supply}}) & = & 1.E+06 & & \\
 & & (Q_{\text{supply}}) & = & 1093698 & \text{kkal} & \\
 & & Q_{\text{loss}} & = & 54684.9 & \text{kkal} & 
 \end{array}$$

### Menghitung massa steam yang dibutuhkan

Steam yang digunakan adalah steam saturated yang memiliki suhu 230 °C dan bertekanan 2797,6 kPa

T (°C)	P (kPa)	h <sub>f</sub> (kJ/kg)	h <sub>g</sub>	h <sub>fg</sub> (kJ/kg)	h <sub>g</sub> (kJ/kg)	λ
230	2797.6	990.3	2802	669.678	236.682	433

Sumber : Geankoplis Appendix A.2-9

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times \lambda \\
 1093698 &= m \times (433) \\
 m &= 2525.88 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### Neraca Panas Vaporizer

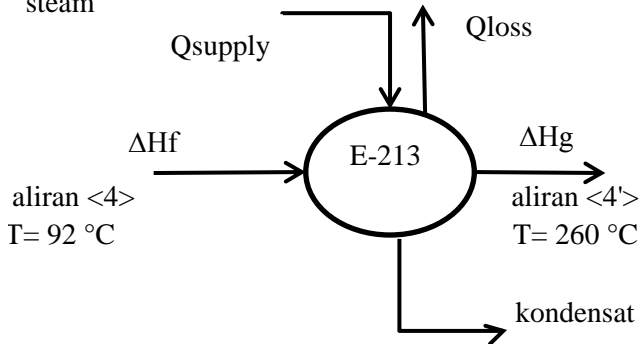
Masuk		Keluar	
(kJ)		(kJ)	
ΔH <sub>c</sub>	42886	ΔH <sub>d</sub>	1081899.002
Q <sub>supply</sub>	1093698.079	Q <sub>loss</sub>	54684.90393
Total	1136584	Total	1136584

**3. HEATER (E-213)**

Tmasuk	92 °C	373	K	Bahan Baku		
Tref	25 °C	298	K	pentana	2.E+04	kg
				klorin	2.E+04	kg

Komponen	Cp (kkal/kmolC)
Pentana	1906.176125
Klorin	491.8593415

Sumber : Himmleblau  
steam

**Menghitung  $\int Cp dT$  komponen aliran<4>**

T = 92 °C      T ref = 25 °C

Pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)

$$\begin{aligned}
 \int Cp dT &= 2.E+05 \quad + \quad -270.5 \quad T + \quad 1.E+00 \quad T^2 \\
 &= 2.E+05 (92-25) + -135.3 (2^2)-(25^2)) \\
 &\quad + \quad 3.E-01 ((92^3)-(25^3)) \\
 &= 1.E+04 \text{ J/kmol} \\
 &= 2869 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$



Neraca Total :  $\Delta H_f + Q_{\text{supply}} = \Delta H_g$       Tref      25      298

Menghitung Panas Aliran Masuk      Tf      92      365

Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_f$
C5H12	72.1488	0.5	21595.1	299.313	2146.27	6.E+05
CL2	71	0.5	21,595	304.156	549.893	2.E+05
Total		1	43190.1	603.469	2696.16	8.E+05

Menghitung Panas Aliran Keluar  $\Delta H_g$

Tref      25 C      298

Tg      260      533

komponen Cp (kkal/kmol)

C5H12	8922
CL2	1975.8

Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_g$
C5H12	72.149	0.5	21595	299.31	8922	3.E+06
CL2	71	0.5	21595	304.16	1975.8	6.E+05
Total						3.E+06

Note :  $Q_{\text{loss}} = 0,05 Q_{\text{supply}}$  (5%)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_g + Q_{\text{loss}} \\
 8.E+05 + Q_{\text{supply}} &= 3.E+06 + 0,05 \\
 0.95 Q_{\text{supply}} &= 2.E+06 \\
 Q_{\text{supply}} &= 2.105263 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 105263 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

### Menghitung massa steam yang dibutuhkan

steam yang digunakan adalah steam saturated dengan suhu 230 °C dan bertekanan 2798 kPa

T (C)	P (kPa)	h (kJ/kg)	Hv	v (kcal/k	(kcal/k	λ
230	2797.6	990.3	2802	669.68	236.68	433

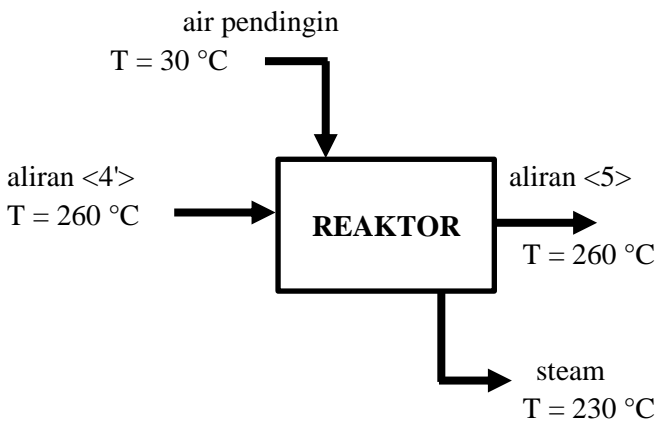
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m \cdot \lambda \\
 3\text{E}+06 &= m(432,9963) \\
 m_{\text{steam}} &= 5984.7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
$\Delta H_f$ 809660	$\Delta H_g$ 3E+06
$Q_{\text{supply}}$ 3E+06	$Q_{\text{loss}}$ 129567
Total 3E+06	Total 3E+06

### 4. REAKTOR (R-210)

Fungsi : Tempat mereaksikan pentana dan klorin menjadi amil kloride dan HCl



**Menghitung  $\int Cp \, dT$  komponen aliran<4>**

$$T = 260 \, ^\circ\text{C} \quad T_{\text{ref}} = 25 \, ^\circ\text{C}$$

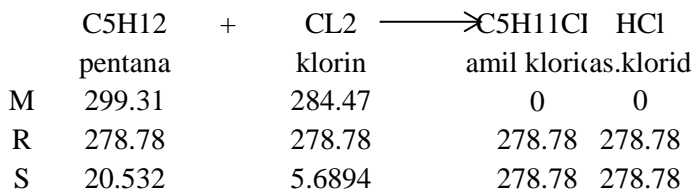
**Pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)**

$$\begin{aligned} \int Cp \, dT &= 1.E+02 + 0.3409 T + -2.E-04 T^2 \\ &\quad + 4E-08 T^3 \\ &= 1.E+02 (120-25) + 0.1705 ((120^2)-(25^2)) \\ &\quad + -6E-05 ((120^3)-(25^3)) \\ &\quad + 1E-08 ((120^4)-(25^4)) \\ &= 37331 \, \text{J/kmol} \\ &= 8922 \, \text{kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$T_{\text{ref}} = 25$$

$$T_j = 260$$

Komp.	BM	aksi Ma	Massa	kmol	$\int Cp \, dT$	$\Delta H_j$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.149	0.5167	21595	299.31	8922	3E+06
HCl	36.508	0	0	0	1637.8	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	106.64	0	0	0	14575	0
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl	141.13	0	0	0	13797	0
Cl <sub>2</sub>	71	0.4833	20197	284.47	1975.8	562068
Total		1	41792	583.78		3E+06

**Menghitung panas reaksi pada reaktor****Reaksi 1**

data jumlah kmol komponen didapat dari App. A

	C5H12	CL2	C5H11Cl	HCl	
$\Delta H_f^{25}$	-34999	0	-41799	-22060	
(kmol)	278.78	278.78	278.78	278.78	kmol
$n * \Delta H_f$	-1.E+07	0	-1.E+07	-6.E+06	
$\Delta H_{Rx}^{25}$	=	-8.E+06	kkal		

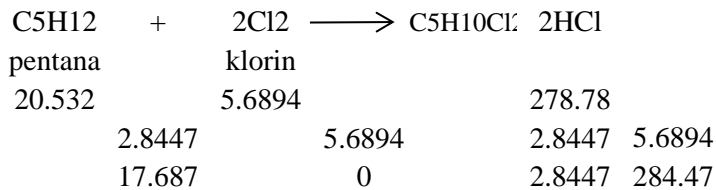
### Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)

	Tref	25	T	260	
komponen	Cp	kmol	$\Delta H_{reaktan}$ (kkal)		
C5H12	8922	278.78	2E+06		-6.E+06
CL2	1975.8	278.78	550826		
Total			3E+06		

### Menghitung panas entalpi produk

	Tref	25	T	260	
komponen	Cp	kmol	$\Delta H_{produk}$ (kkal)		
C5H12	8922	20.532	183186		
CL2	1975.8	5.6894	11241		
C5H11Cl	14575	278.78	4E+06		
HCl	1637.8	278.78	456577		
Total			5E+06		

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{Rx} &= (\Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan}) + \Delta H_{25} \\
 &= 2E+06 + -8.E+06 \\
 &= -6.E+06 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

**Reaksi 2**

data jumlah kmol komponen didapat dari App. A

**Menghitung panas reaksi reaksi pertama pada T 25**

	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	2Cl <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	2HCl
$\Delta H_f$ 25	-34999	0	-41799	-22060
n (kmol)	2.8447	5.6894	2.8447	5.6894
n * $\Delta H_f$ 25	-99562	0	-1.E+05	-1.E+05
$\Delta H_{Rx}$ 25	= -1.E+05 kkal			

**Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)**

	T <sub>ref</sub>	25	T	260
komponen	Cp	kmol	reaktan (kkal)	
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	8922	2.8447	25380	
2Cl <sub>2</sub>	1975.8	5.6894	11241	
Total			36622	

**Menghitung panas entalpi produk**

	T <sub>ref</sub>	25	298	T	260
komponen	Cp	kmol	produk (kkal)		
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	8922	17.687	157805		
2Cl <sub>2</sub>	1975.8	0	0		
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	13797	2.8447	39250		
2HCl	1637.8	284.47	465895		
Total			662950		

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{Rx} &= (\Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{re}}) + \Delta H_{Rx} \text{ 25} \\
 &= 626328 + -1E+05 \\
 &= 481479 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Total panas reaksi:  $-6E+06$  kkal

### Menghitung panas aliran keluar reaktor $\Delta H_k$

Tref 25

Tk 260

komponen	BM	aksi Ma	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_j$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.149	3.1785	1276.1	17.687	8922	157805
HCL	36.508	25.868	10385	284.47	1637.8	465895
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	106.64	74.049	29729	278.78	14575	4E+06
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl	141.13	1	401.48	2.8447	13797	39250
Cl <sub>2</sub>	71	0	0	0	1975.8	0
Total		1	401.48	2.8447		39250

Neraca panas total

$\sum$  Panas Masuk  $\sum$  Panas keluar

$$H_{in} = H_{out} + H_{rx}$$

$$3E+06 = -5848659.319$$

$$\sum \text{Panas Keluar} - \sum \text{Panas Masuk} = 0$$

$$-6.E+06 - 3E+06 -9.E+06$$

Panas Masuk  $\neq 0$  dan bernilai negatif

Maka reaksi tersebut merupakan reaksi eksoterm  
dan melepas panas

Neraca Panas Total

$$H_{\text{masuk}} = H_{\text{keluar}} + \Delta H_{R_x} + Q_{\text{serap}}$$

Qloss sebesar 0,05 Qsupply, sehingga :

$$\begin{aligned} H_{\text{masuk}} &= H_{\text{keluar}} + \Delta H_{R_x} + Q_{\text{serap}} \\ 3E+06 &= 39250 + -6.E+06 + Q_{\text{serap}} \\ Q_{\text{serap}} &= 9E+06 \quad \text{kkal} \end{aligned}$$

**Menghitung Kebutuhan Air Pendingin**  $\lambda$  433

$$Q_c = H_{\text{pendingin keluar}} - H_{\text{pendingin masuk}}$$

$$9E+06 = 2122.1 \text{ m air} - 90.043 \text{ m air}$$

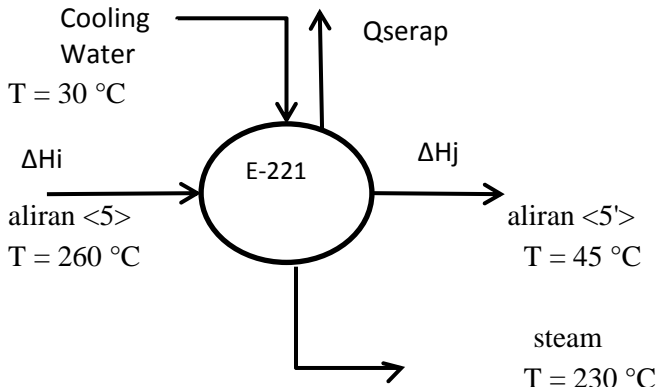
$$9E+06 = 2032.1 \text{ m air}$$

$$\begin{aligned} \text{m air} &= 4469 \text{ kmol} \quad 80441 \text{ kg air} \\ &80.441 \text{ ton} \end{aligned}$$

**Neraca Energi Total**

Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
$\Delta H_j$ 3E+06	$\Delta H_k$ 39250
	$\Delta H_{R_x}$ 25 -6.E+06
	$Q_{\text{serap}}$ 9E+06
<b>Total</b> 3E+06	<b>Total</b> 3.E+06

## 5. WASTE HEAT BOILER (E-221)



Menghitung  $\int C_p dT$  masing-masing komponen aliran <5>

$T = 120\text{ °C}$      $T_{\text{ref}} = 25\text{ °C}$

Pentana ( $C_5H_{12}$ )

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= 114.8 + 0.3409 T + -2E-04 T^2 \\
 &\quad + 4E-08 T^3 \\
 &= 114.8 (260-25) + 0.1705 ((260^2)-(25^2)) \\
 &\quad + -6E-05 ((260^3)-(25^3)) + 1E-08 ((260^4)-(25^4)) \\
 &= 37331 \text{ J/kmol} \\
 &= 8922 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$



Tref 25

Te 533 260

komponen	BM	aksi Ma	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_i$
C5H12	72.149	0.0305	1276.1	17.687	8922	157805
HCL	36.508	0.2485	10385	284.47	1637.8	465895
C5H11Cl	106.64	0.7114	29729	278.78	14575	4E+06
C5H10Cl	141.13	0.0096	401.48	2.8447	13797	39250
TOTAL		1	41792	583.78		5E+06

**Menghitung panas aliran campuran keluar  $\Delta H_j$** 

Tref 25

Tj 318 45

komponen	BM	aksi Ma	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_j$
C5H12	72.149	0.0305	1276.1	17.687	813.67	14392
HCL	36.508	0.2485	10385	284.47	358.6	102010
C5H11Cl	106.64	0.7114	29729	278.78	929.47	259119
C5H10Cl	141.13	0.0096	401.48	2.8447	1056.3	3005
TOTAL		1	41792	583.78		378525

Q yang diserap air pendingin

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{serap}} &= \Delta H_i - \Delta H_j \\
 &= 5E+06 - 378525 \\
 &= 4E+06 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

lamda 433

**Menghitung Kebutuhan Air Pendingin**

$$Q_c = H_{\text{pendingin keluar}} - H_{\text{pendingin masuk}}$$

$$4E+06 = 2122.1 \text{ m air} - 90.043 \text{ m air}$$

$$4E+06 = 2032.1 \text{ m air}$$

$$\text{m air} = 2139.5 \text{ kmol} \quad 38511 \text{ kg air}$$

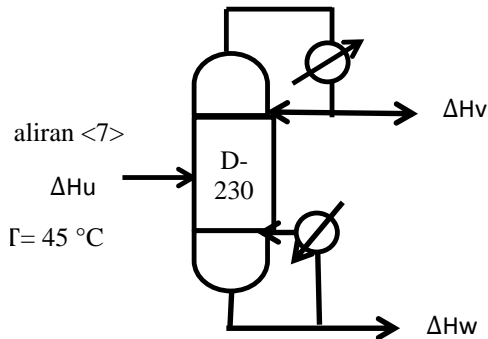
$$38.511 \text{ ton}$$

**Neraca Panas Total**

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
$\Delta H_i$	5E+06	$\Delta H_j$	378525
		Qserap	4E+06
Total	5E+06	Total	5E+06

## 6. KOLOM DISTILASI PENTANA (D-230)

fungsi : memisahkan pentana dan asam klorida



Neraca panas overall untuk kolom distilasi

$$\Sigma \text{ Panas masuk} = \Sigma \text{ Panas keluar}$$

$$Hl + Qr = Hm + Hn + Qc$$

$Qr$  = Panas yang disupply oleh steam pada reboiler

$Qc$  = Panas yang diserap oleh air pendingin condenser

**Menghitung  $\int C_p dT$  komponen aliran<7>**

$$T = 45 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pentana ( $C_5H_{12}$ )

$$\begin{aligned} \int C_p dT &= 2.E+05 + -270.5 T + 1.E+00 T^2 \\ &= 2.E+05 (45-25) + -135.3 (45^2)-(25^2)) \\ &\quad + 3.E-01 ((45^3)-(25^3)) \\ &= 3404 \text{ J/kmol} \\ &= 813.7 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

**Perhitungan panas sensibel pada aliran feed  $\Delta H_I$** 

Tref 25

Tk 45

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	Cp (kJ)	$\Delta H_u$
C5H12	72.15	0.033	1.E+03	14.31	813.7	11644
HCl	36.51	0.024	753.31	20.63	358.6	7399
C5H11	106.6	0.93	3.E+04	273.7	929.5	3E+05
5H10C	141.1	0.013	399.29	2.829	1056	2989
Total		1	3.E+04	311.44		3E+05

**Perhitungan panas sensibel pada aliran distilat**

Tref 25

Tk 92

Komp.	BM	Fraksi Ma	Massa	kmol	Cp (kJ)	$\Delta H_v$
C5H12	72.15	0.494	1.E+03	14.17	2869	40645
HCl	36.51	0.364	753.31	20.63	1235	25487
C5H11	106.6	0.141	291.84	2.737	3114	8521
C5H10	141.1	8E-06	0.02	1E-04	3539	0.402
Total		1	2.E+03	37.54		74654

**Perhitungan Panas Sensibel Aliran Bottom Produk**

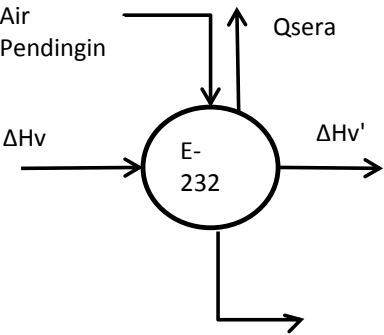
Tref 25

Tk 171

BM	BM	Fraksi	Massa	kmol	Cp (kJ)	$\Delta H_w$
C5H12	72.15	4E-04	10.32	0.143	5098	729.6
HCl	36.51	4E-11	1E-06	3E-08	1016	3E-05
C5H11	106.6	0.986	28892	270.9	444	1E+05
C5H10	141.1	0.014	399.3	2.829	7620	21558
Total		1	29302	273.9	14178	1E+05

**KONDENSOR (E-232)**

**Menghitung Panas penyerapan kondensor**



**Perhitungan panas aliran masuk kondensor**

Tref     25

Tk        92

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	(kJ/kmol)	ΔHv
C5H12	72.15	0.494	1.E+03	14.17	2869	40645
HCl	36.51	0.364	753.31	20.63	1235	25487
C5H11Cl	106.6	0.141	291.84	2.737	3114	8521
C5H10Cl	141.1	8E-06	0.02	1E-04	3539	0.402
Total		1	2.E+03	37.54		74654

**Perhitungan panas laten aliran keluar**

Komp.	BM	kmol	λ	H' (kkal)
C5H12	72.15	14.17	6381	90405
HCl	36.51	20.63	3872	79891
C5H11Cl	106.6	2.737	9130	24985
C5H10Cl	141.1	1E-04	10588	1.202
total		37.54		2E+05

**Perhitungan panas aliran keluar kondensor**

Tref 25

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	Cp (kJ)	$\Delta H_u'$
C5H12	72.15	0.494	1.E+03	14.17	2869	40645
HCl	36.51	0.364	753.31	20.63	1235	25487
C5H11	106.6	0.141	291.84	2.737	3114	8521
C5H10	141.1	8E-06	0.02	1E-04	3539	0.402
total						74654

Total Panas Keluar ( $\Delta H_u'$ ) -1E+05**Menghitung Kebutuhan Air Pendingin** $Q_c = H_{\text{pendingin keluar}} - H_{\text{pendingin masuk}}$ 

$$2.E+05 = 359.9 \text{ m air} - 90.04 \text{ m air}$$

$$2.E+05 = 269.8 \text{ m air}$$

$$\text{m air} = 723.8 \text{ kmol} \quad 13028 \text{ kg air} \quad 13.03$$

Q yang diserap air pendingin

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_u' - \Delta H_u \\ &= -120629.71 - 74654 \\ &= -195283.33 \text{ kkal} \end{aligned}$$

 $\Delta H$  bernilai negatif (-) maka dibutuhkan air pendingin. $\Delta H$  sama dengan  $Q_{\text{serap}}$ .

$$Q_{\text{serap}} \text{ sebesar } = 195283.33$$

Berdasarkan neraca panas total

$$H_l + Q_r = H_m + H_n$$

Q loss sebesar 0,05 Q supply maka

$$3.E+05 + Q_r = 74654 \text{ } 1.E+05 \text{ } 2.E+05$$

$$3.E+05 + Q_r = 4.E+05 + 0,05 Q_r$$

$$0.95 Q_r = 1.E+05$$

$$Q_r = 1.E+05 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 7164 \text{ kkal}$$

**Menghitung massa steam yang dibutuhkan**

steam yang digunakan adalah steam saturated dengan suhu 230°C dan bertekanan 2797,6 kPa

T (C)	P (kPa)	HI (kJ/	Hv	Hv (kk	HI (kk	$\lambda$
230	2798	990.3	2802	669.7	236.7	433

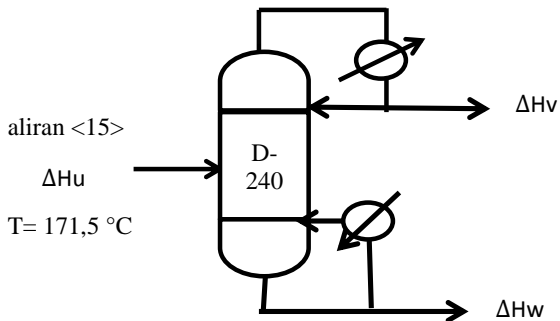
$$\begin{aligned}
 Q_r &= m \cdot \lambda \\
 1E+05 &= (108,1714) \\
 m \text{ steam} &= 330.9 \text{ kg} \quad 0.331 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas Total**

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_u$	3E+05	$\Delta H_v$	74654
$Q_r$	1E+05	$\Delta H_w$	1E+05
		$Q_c$	2.E+05
		$Q_{loss}$	7164
Total	4E+05	Total	4E+05

## 7. KOLOM DISTILASI AMIL KLORID (D-240)

fungsi : memisahkan amil klorid



Neraca panas overall untuk kolom distilasi

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Panas masuk} &= \Sigma \text{ Panas keluar} \\ H_I + Q_r &= H_m + H_n + Q_c + Q_{\text{loss}} \end{aligned}$$

$Q_r$  = Panas yang disupply oleh steam pada reboiler

$Q_c$  = Panas yang diserap oleh air pendingin pada condenser

### Menghitung $\int C_p dT$ komponen aliran<15>

$$T = 171,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pentana ( $C_5H_{12}$ )

$$\begin{aligned} \int C_p dT &= 2.E+05 + \frac{-270.5}{T} + 1.E+00 T^2 \\ &= 2.E+05 (171,5-25) + \frac{-135.25}{(15^2)-(25^2)} \\ &\quad + 3.E-01 ((45^3)-(25^3)) \\ &= 3404.48 \text{ J/kmol} \\ &= 813.671 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$



**Perhitungan panas sensibel pada aliran feed  $\Delta H_I$** T<sub>ref</sub> 25T<sub>k</sub> 171

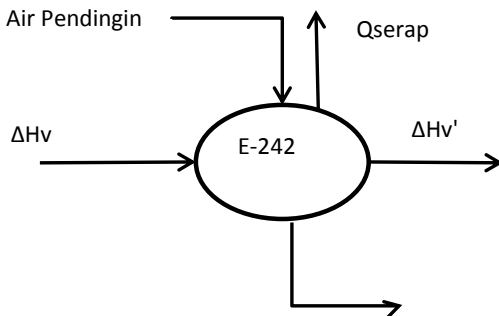
Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	C <sub>p</sub> (kJ/kg)	$\Delta H_u$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1488	0.00035	10.32	0.1431	6891.44	986.189
HCl	36.5079	3.6E-11	0.00	2.9E-08	2815.6	8.1E-05
H <sub>2</sub> O (L)	106.641	0.98602	3.E+04	270.931	6785.14	1838306
H <sub>2</sub> O (H)	141.133	0.01363	399.27	2.82903	7711.23	21815.3
Total		1	3.E+04	273.90		1861107

**Perhitungan panas sensibel pada aliran distilat**T<sub>ref</sub> 25T<sub>k</sub> 171.5

Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	C <sub>p</sub> (kJ/kg)	$\Delta H_v$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1488	0.00036	10.32	0.1431	6919.56	990.213
HCl	36.5079	3.7E-11	0.00	2.9E-08	2826.03	8.2E-05
H <sub>2</sub> O (L)	106.641	0.9995	3.E+04	268.222	6808.38	1826155
H <sub>2</sub> O (H)	141.133	0.00014	3.99	0.02829	7737.63	218.9
Total		1	3.E+04	268.39		1827365

**Perhitungan Panas Sensibel Aliran Bottom Product**T<sub>ref</sub> 25T<sub>k</sub> 191.5

Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	C <sub>p</sub> (kJ/kg)	$\Delta H_w$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1488	5.8E-26	7.9E-23	1.1E-24	5118.38	5.6E-21
HCl	36.5079	0.21114	288.923	7.91399	1019	8064.34
H <sub>2</sub> O (L)	106.641	0.28886	395.277	3.70662	7997.02	29641.9
H <sub>2</sub> O (H)	141.133	0.5	684.2	4.84791	7651.78	37095.2
Total		1	1368.4	16.4685	21786.2	74801.4

**KONDENSOR(E-242)****Menghitung Panas penyerapan kondensor****Perhitungan panas aliran masuk kondensor**

Tref 25

Tk 171.5

Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	Cp (kJ/kg)	ΔHv
C5H12	72.1488	0.00036	10.32	0.1431	6919.56	990.213
HCl	36.5079	3.7E-11	0.00	2.9E-08	2826.03	8.2E-05
5H11Cl (L)	106.641	0.9995	3.E+04	268.222	6808.38	1826155
H10Cl2 (F)	141.133	0.00014	3.99	0.02829	7737.63	218.9
Total		1	3.E+04	268.39		1827365

**Perhitungan panas laten aliran keluar**

Komp.	BM	kmol	λ	H' (kkal)
C5H12	72.1488	0.1431	6381.3	913.186
HCl	36.5079	2.9E-08	3871.8	0.00011
5H11Cl (L)	106.641	268.222	9129.8	2448813
H10Cl2 (F)	141.133	0.02829	10587.7	299.529
total		268.393		2450025

**Perhitungan panas aliran keluar kondensor**

Tref 25

Komp.	BM	Fraksi M	Massa	kmol	Cp (kJ/kg)	$\Delta H_u'$
C5H12	72.1488	0.00036	10.32	0.1431	6919.56	990.213
HCl	36.5079	3.7E-11	0.00	2.9E-08	2826.03	8.2E-05
H11Cl (L	106.641	0.9995	3.E+04	268.222	6808.38	1826155
H10Cl2 (H	141.133	0.00014	3.99	0.02829	7737.63	218.9
total						1827365

Total Panas Keluar -622660.6636 lamda 497.407

**Menghitung Kebutuhan Air Pendingin** $Q_c = H_{\text{pendingin keluar}} - H_{\text{pendingin masuk}}$ 

$$2.E+06 = 1599.86 \text{ m air} - 90.0429 \text{ m air}$$

$$2450025 = 1509.82 \text{ m air}$$

$$\text{m air} = 1622.73 \text{ kmol} \quad 29209.2 \text{ kg air}$$

Q yang diserap air pendingin

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_u' - \Delta H_u \\ &= -6.E+05 - 1827365 \\ &= -2.E+06 \text{ kkal} \end{aligned}$$

 $\Delta H$  bernilai negatif (-) maka dibutuhkan air pendingin. 2.E+06 $\Delta H$  sama dengan Qserap. Qserap sebesar

Berdasarkan neraca panas total

$$H_l + Q_r = H_m + H_n + Q_c +$$

Q loss sebesar 0,05 Q supply maka 2450025.24

$$1861107 + Q_r = 1827365 + 74801.4 + 2.E+06$$

$$1861107 + Q_r = 4.E+06 + 0,05 Q_r$$

$$0.95 Q_r = 2.E+06$$

$$Q_r = 2622194 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 131110 \text{ kkal}$$

**Menghitung massa steam yang dibutuhkan**

steam yang digunakan adalah steam saturated dengan suhu

230°C dan bertekanan 2798 kPa

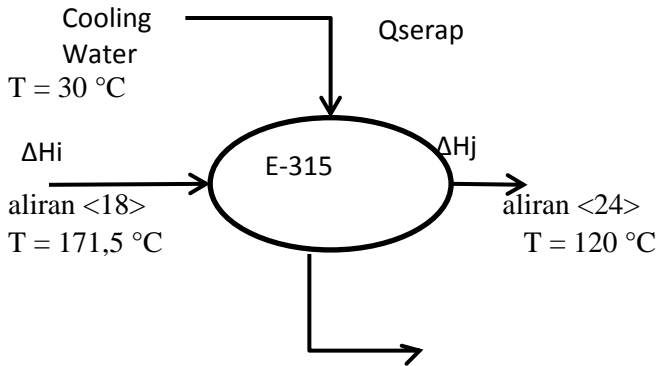
T (C)	P (kPa)	HI (kJ/kg)	Hv	Hv (kkal/	HI (kkal/	λ
230	2797.6	990.3	2802	669.678	236.682	432.996

$$\begin{aligned}
 Q_r &= m \cdot \lambda \\
 2622194 &= 1(108,1714) \\
 m \text{ steam} &= 6055.93 \text{ kg} \quad 6.05593 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas Total**

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
ΔHu	1861107	ΔHv	1827365
Qr	2622194	ΔHw	74801.4
		Qc	2.E+06
		Qloss	131110
Total	4483301	Total	4483301

## 8. COOLER (E-315)



Menghitung  $\int C_p dT$  komponen aliran <18>  
 $= 171,5\text{ °C}$      $T_{\text{ref}} = 25\text{ °C}$

Pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= 114.8 + 0.3409 T + -2E-04 T^2 + 4E-08 T^3 \\
 &= 114.8 (171,5 - 25) + 0.1705 ((171,5^2) - (25^2)) \\
 &\quad + -6E-05 ((171,5^3) - (25^3)) + 1E-08 ((171,5^4) - (25^4)) \\
 &= 28952 \text{ J/kmol} \\
 &= 6919.6 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

**Menghitung panas aliran campuran masuk  $\Delta H_i$** 

Tref 25

Te 171.5

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_i$
C5H12	72.149	0.0003	10.325	0.1431	6919.6	990.21
C5H11Cl	106.64	0.7128	28603	268.22	6808.4	2E+06
NaOH	39.997	0.2667	10705	267.63	2226.6	595908
H2O	18.015	0.0201	807.9	44.845	2671.3	119795
HCL	36.508	3E-11	1E-06	3E-08	2826	8E-05
5H10Cl	141.13	1E-04	3.9927	0.0283	7737.6	218.9
TOTAL		1	40130	580.87		3E+06

**Menghitung panas aliran campuran keluar  $\Delta H_j$** 

Tref 25

Tj 120

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_j$
C5H12	72.149	0.0003	10.325	0.1431	4204.7	601.71
C5H11Cl	106.64	0.7128	28603	268.22	4415	1E+06
NaOH	39.997	0.2667	10705	267.63	1400.9	374936
H2O	18.015	0.0201	807.9	44.845	1717.1	77003
HCL	36.508	3E-11	1E-06	3E-08	1780	5E-05
5H10Cl	141.13	1E-04	3.9927	0.0283	5017.6	141.95
TOTAL		1	40130	580.87		2E+06

Q yang diserap air pendingin

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{serap}} &= \Delta H_i - \Delta H_j \\
 \Delta H_j &= 3E+06 - 2E+06 \\
 &= 906189 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

### Menghitung Kebutuhan Air Pendingin

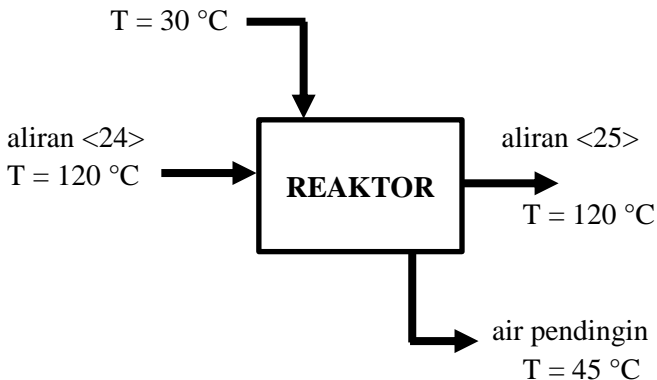
$$\begin{aligned}
 Q_c &= \text{Massa air pendingin} \times C_{\text{pair}} \times (T_2 - T_1) \\
 906189 &= 359.85 \text{ n air} - 90.043 \text{ n air} \\
 906189 &= 269.81 \text{ n air} \\
 \text{n air} &= 3358.6 \text{ kmol} \\
 \text{m air} &= 60506 \text{ kg} \\
 &= 60.506 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### Neraca Panas Total

Masuk (kJ)	Keluar (kJ)
$\Delta H_i$ 3E+06	$\Delta H_j$ 2E+06
	Qserap 906189
Total 3E+06	Total 3E+06

### 9. REAKTOR (R-310)

Fungsi : Tempat mereaksikan amil klorid dengan natrium hidroksida menjadi amil alkohol air pendingin



Menghitung  $\int C_p dT$  masing-masing komponen aliran<7>

$T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$      $T_{\text{ref}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pentana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )

$$\begin{aligned}\int C_p dT &= 159080 + (-270.5 T + 0.9954 T^2) \\ &= 159080 (100-25) + (-135.3 (0^2)-(25^2)) \\ &\quad + 0.3318 (0^3)-(25^3)) \\ &= 17593 \text{ J/kmol} \\ &= 4204.7 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

**Perhitungan panas sensibel pada aliran feed  $\Delta H_I$**

$T_{\text{ref}} = 25$

$T_k = 120$

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	(kJ/kmol)	$\Delta H_u$
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	72.149	0.0003	10.325	0.1431	4204.7	601.71
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$	106.64	0.7128	28603	268.22	4415	1E+06
NAOH	39.997	0.2667	10705	267.63	1400.9	374936
$\text{H}_2\text{O}$	18.015	0.0201	807.9	44.845	1717.1	77003
HCL	36.508	3E-11	1E-06	3E-08	1780	5E-05
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{Cl}$	141.13	1E-04	3.9927	0.0283	5017.6	141.95
Total		1	40130	580.87		2E+06

**Menghitung panas reaksi pada reaktor**

**Reaksi 1**

	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$	$\text{H}_2\text{O}$	NAOH	—	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	NaCl
	amil klori	air	naoh		amil alkohol	
M	268.22	44.845	267.63			
R	262.28		262.28		262.28	262.28
S	5.9398	44.845	5.3527		262.28	262.28



data jumlah kmol komponen didapat dari App. A

	C5H11Cl	NaOH	H2O	C5H11OH	NaCl	
$\Delta H_f^{25}$	-50955	-1E+05	-68316	-84032	-98229	
n (kmol)	262.28	262.28	0	262.28	262.28	kmol
* $\Delta H_f^{25}$	-1E+07	-3E+07	0	-2E+07	-3E+07	
$\Delta H_{Rx}^{25}$	= -8E+06 kkal					

**Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)**

Tref	25	T	120	
Komp.	Cp	kmol	$\Delta H_{reaktan}$ (kkal)	
C5H11Cl	4415	262.28	1E+06	-9E+06
NaOH	1400.9	262.28	367437	
Total			2E+06	

**Menghitung panas entalpi produk**

Tref	25	T	120	
Komp.	Cp	kmol	$\Delta H_{produk}$ (kkal)	
C5H11Cl	4415	5.9398	26224	
NaOH	1400.9	5.3527	7498.7	
C5H11OH	460.72	262.28	120838	
NaCl	1171.1	262.28	307169	
H2O	1717.1	44.845	77003	
Total			538733	
$\Delta H_{Rx}$	= $(\Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan})$			
	= -1E+06 + $\Delta H_{25}$			
	= -9E+06 + -8E+06			
	= -9E+06 kkal			

**Reaksi 2**

C5H11Cl	NaOH	→	C5H10	NaCl	H2O
amil klori	naoh		amilen		air
5.9398	5.3527			262.28	44.845
5.3527	5.3527		5.3527	5.3527	5.3527
0.5871	0		5.3527	267.63	50.198

data jumlah kmol komponen didapat dari App. A

**Menghitung panas reaksi reaksi pertama pada T 25**

	C5H11Cl	NaOH	C5H10	NaCl	H2O
$\Delta H_f^{25}$	268.22	-1E+05	-25286	-98229	-68316
<b>n (kmol)</b>	5.3527	5.3527	5.3527	5.3527	5.3527
<b>* <math>\Delta H_f^{25}</math></b>	1435.7	-5E+05	-1E+05	-5E+05	-4E+05
$\Delta H_{Rx}^{25}$	=	-5E+05	kkal		

**Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)**

Tref	25	T	120
Komp.	Cp	kmol	$\Delta H_{reaktan}$ (kkal)
C5H11Cl	4415	5.3527	23632
NaOH	1400.9	5.3527	7498.7
Total			31131

**Menghitung panas entalpi produk**

Tref	25	298	T	120
Komp.	Cp	kmol	$\Delta H_{produk}$ (kkal)	
C5H11Cl	4415	0.5871	2592.1	
NaOH	1400.9	0	0	
C5H10	3805.5	5.3527	20370	
NaCl	1171.1	267.63	313438	
H2O	1717.1	50.198	86194	
Total			422594	

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{R_x} &= (\Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{re}}) + \Delta H_{R_x} \text{ 25} \\
 &= 391463 + -5E+05 \\
 &= -91025 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Total panas reaksi:  $-9E+06$  kkal

### Menghitung panas aliran campuran keluar reaktor $\Delta H_k$

$T_{\text{ref}} = 25$

$T_k = 120$

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_j$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.149	0.0003	10.325	0.1431	4204.7	601.71
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	106.64	0.0016	62.611	0.5871	4415	2592.1
NaOH	39.997	0	0	0	1400.9	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O	88.148	0.5702	22884	259.61	460.72	119605
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.133	0.014	563.1	8.029	3805.5	30555
H <sub>2</sub> O	18.015	0.0237	952.54	52.874	1717.1	90790
HCL	36.508	3E-11	1E-06	3E-08	1780	5E-05
NaCl	58.49	0.3901	15654	267.63	1171.1	313438
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl	141.13	1E-04	3.9927	0.0283	5017.6	141.95
Total		1	40130			557723

Neraca panas total

panas Masuk =  $\sum$  Panas keluar

$H_{\text{in}} = H_{\text{out}} + H_{R_x}$

$2E+06 = -8E+06$

$\sum \text{Panas Keluar} - \sum \text{Panas Masuk} = 0$

$-8E+06 - 2E+06 - 1E+07$

Karena  $\sum \text{Panas Keluar} - \sum \text{Panas Masuk} \neq 0$  dan bernilai negatif. Maka reaksi tersebut merupakan reaksi eksoterm dan melepas panas

### Neraca Panas Total

$$H_{\text{masuk}} = H_{\text{keluar}} + \Delta H_{\text{Rx}} + Q_{\text{serap}}$$

Qloss sebesar 0,05 Qsupply, sehingga :

$$\begin{array}{rclclcl} H_{\text{masuk}} & = & H_{\text{keluar}} & + & \Delta H_{\text{Rx}} & + & Q_{\text{serap}} \\ 2\text{E}+06 & = & 557723 & + & -9\text{E}+06 & + & Q_{\text{serap}} \\ Q_{\text{serap}} & = & 1\text{E}+07 & & \text{kkal} & & \end{array}$$

### Menghitung Kebutuhan Air Pendingin

$$Q_c = H_{\text{pendingin keluar}} - H_{\text{pendingin masuk}}$$

$$\begin{array}{rclclcl} 1\text{E}+07 & = & 359.85 & \text{ m air} & - & 90.043 & \text{ m air} \\ 1\text{E}+07 & = & 269.81 & \text{ m air} & & & \\ \text{m air} & = & 36522 & \text{ kmol} & 657388 & \text{ kg air} & \\ & & & & 657.39 & \text{ ton} & \end{array}$$

### Neraca Energi Total

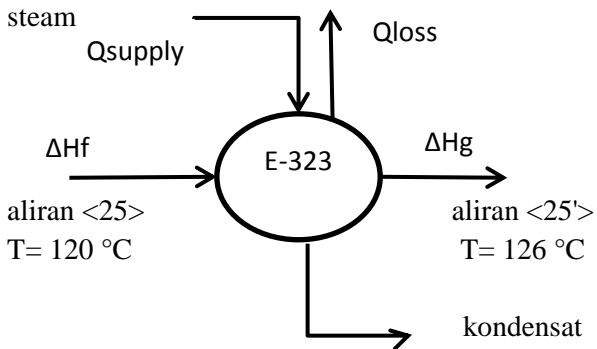
Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
$\Delta H_j$ 2E+06	$\Delta H_k$ 557723
	$\Delta H_{\text{Rx}}$ 25 -9E+06
	$Q_{\text{serap}}$ 1E+07
<b>Total</b> 2.E+06	<b>Total</b> 2E+06

**10. HEATER (E-323)**

Tmasuk 120°C      393 K

Tref    25 °C      298 K

Sumber : Himmleblau

Menghitung  $\int C_p dT$  komponen aliran<25>

T = 120 °C      T ref = 25 °C

Pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= 2.E+05 + \frac{-270.5 T + 0.995 T^2}{2} \Big|_{25}^{120} \\
 &= \frac{2.E+05 (120-25)}{2} + \frac{-135.3 ((120^2)-(25^2))}{2} \\
 &\quad + \frac{0.332 ((120^3)-(25^3))}{3} \\
 &= 17593 \text{ J/kmol} \\
 &= 4205 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_f$
C5H12	72.149	0.0003	10.325	0.1431	4204.7	601.71
C5H11CL	106.64	0.0016	62.611	0.5871	4415	3.E+03
NAOH	39.997	0	0	0	1400.9	0.00
C5H11OH	88.148	0.5702	22884	259.61	460.72	1.E+05
C5H10	70.133	0.014	563.1	8.029	3805.5	3.E+04
H2O	18.015	0.0237	952.54	52.874	1717.1	9.E+04
HCL	36.508	3E-11	1E-06	3E-08	1780	0.00
NaCl	58.49	0.3901	15654	267.63	1171.1	3.E+05
C5H10CL	141.13	1E-04	3.9927	0.0283	5017.6	141.95
Total		1	40130	588.9	23973	6.E+05

### Menghitung Panas Aliran Keluar $\Delta H_g$

T<sub>ref</sub>            25        298

T<sub>g</sub>                126        399

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	$\int C_p dT$	$\Delta H_g$
C5H12	72.15	3E-04	10.32	0.143	4503	644.40
C5H11C	106.6	0.002	62.61	0.587	4694	3.E+03
NAOH	40	0	0	0	1494	0.00
C5H11O	88.15	0.57	22884	259.6	1242	3.E+05
C5H10	70.13	0.014	563.1	8.029	4066	3.E+04
H2O	18.02	0.024	952.5	52.87	1827	1.E+05
HCL	36.51	3E-11	1E-06	3E-08	1899	0.00
NaCl	58.49	0.39	15654	267.6	1494	4.E+05
C5H10Cl	141.1	1E-04	3.993	0.028	5334	150.91
Total			40130			9.E+05

Note :  $Q_{\text{loss}} = 0,05 Q_{\text{supply}} (5\%)$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_g + Q_{\text{loss}} \\
 6.E+05 + Q_{\text{supply}} &= 9.E+05 + 0,05 \\
 0.95 Q_{\text{supply}} &= 3.E+05 \\
 Q_{\text{supply}} &= 3E+05 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 15656 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

### Menghitung massa steam yang dibutuhkan

steam yang digunakan adalah steam saturated  
dengan suhu  $230^\circ\text{C}$  dan bertekanan  $2798 \text{ kPa}$

T (C)	P (kPa)	Hl (kJ/	Hv	Hv (kk	Hl (kk	$\lambda$
230	2798	990.3	2802	669.7	236.7	433

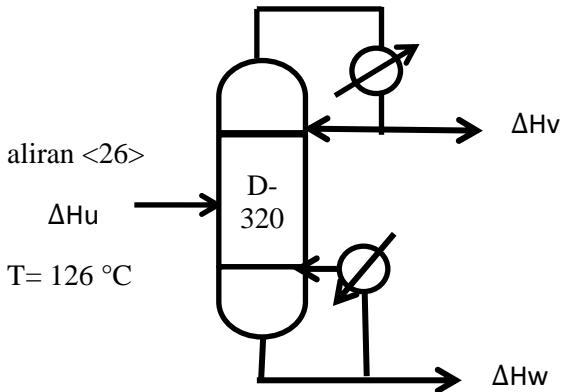
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m \cdot \lambda \\
 3E+05 &= m(26,1705) \\
 m \text{ stean} &= 723.2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Neraca Energi Total

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_f$	6E+05	$\Delta H_g$	9E+05
$Q_{\text{supply}}$	3E+05	$Q_{\text{loss}}$	15656
Total	9E+05	Total	9E+05

# 11. KOLOM DISTILASI AMIL ALKOHOL (D-320)

fungsi : memisahkan amil alkohol dgn amil klorid



Neraca panas overall untuk kolom distilasi

$$\Sigma \text{ Panas masuk} = \Sigma \text{ Panas keluar}$$

$$H_I + Q_r = H_m + H_n + Q_c +$$

$Q_r$  = Panas yang disupply oleh steam pada reboiler

$Q_c$  = Panas yang diserap oleh air pendingin condenser

Menghitung  $\int C_p dT$  komponen aliran<26>

$$T = 126 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)

$$\begin{aligned} \int C_p dT &= 2.E+05 + (-270.5 T + 0.9954 T^2) \\ &= 2.E+05 (126-25) + (-135.3 (126^2)-(25^2)) \\ &\quad + 0.3318 ((126^3)-(25^3)) \\ &= 18841 \text{ J/kmol} \\ &= 4503.1 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$



Tref 25

Tk 126

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	Cp (kJ/	$\Delta H_u$
C5H12	72.149	0.0004	10.32	0.1431	4503.1	644.4
5H10 (L	70.133	0.0239	563.10	8.029	4066.5	32650
C5H11C	106.64	0.0027	62.61	0.5871	4693.8	2756
5H10Cl	141.13	0.0002	3.99	0.0283	5334.5	150.9
H11OH (	88.148	0.9728	2.E+04	259.61	1242.2	3E+05
Total		1	2.E+04	268.39		4E+05

**Perhitungan panas sensibel pada aliran distilat**

Tref 25

Tk 102.5

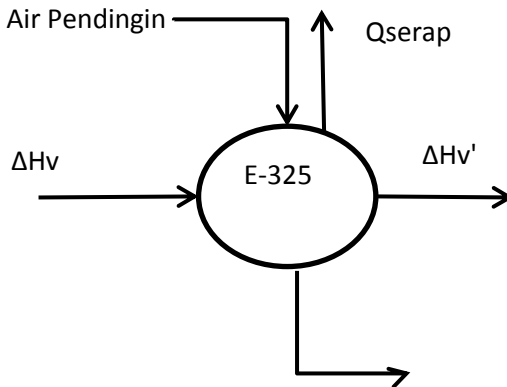
Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	Cp (kJ/	$\Delta H_v$
C5H12	72.149	0.013	10.32	0.1431	3359.3	480.7
5H10 (L	70.133	0.6998	557.47	7.9488	3058.5	24311
C5H11C	106.64	0	0.00	0	3601.7	0
5H10Cl	141.13	0	0.00	0	4093.3	0
H11OH (	88.148	0.2873	228.84	2.5961	740.92	1923
Total		1	796.63			26715

**Perhitungan Panas Sensibel pada Aliran Bottom Produk**

Tref 25

Tk 137.5

Komp.	BM	Fraksi 1	Massa	kmol	Cp (kJ/	$\Delta H_w$
C5H12	72.149	6E-06	0.1387	0.0019	3793.2	7.292
C5H10 (L)	70.133	0.0002	5.631	0.0803	2780.3	223.2
C5H11C	106.64	0.0028	62.611	0.5871	5832.8	3425
C5H10Cl	141.13	0.0002	3.9663	0.0281	5604.9	157.5
H11OH (	88.148	0.9968	22655	257.01	6149.7	2E+06
Total		1	22727			2E+06

**Menghitung Panas penyerapan kondensor**

**Perhitungan panas aliran masuk kondensor**T<sub>ref</sub> 25T<sub>k</sub> 102.5

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	C <sub>p</sub> (kJ/	ΔH <sub>v</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.149	0.013	10.32	0.1431	3359.3	480.7
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.133	0.6998	557.47	7.9488	3058.5	24311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	106.64	0	0.00	0	3601.7	0
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	141.13	0	0.00	0	4093.3	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	88.148	0.2873	228.84	2.5961	740.92	1923
Total		1	796.63			26715

**Perhitungan panas laten aliran keluar**

Komp.	BM	kmol	λ	H' (kkal)
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.149	0.1431	5.E+03	718.49
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.133	7.9488	5.E+03	38325
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	106.64	0	0.00	0
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	141.13	0	0.00	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	88.148	2.5961	1.E+04	29905
Total				68948

**Perhitungan panas aliran keluar kondensor**T<sub>k</sub> 102.5

Komp.	BM	Fraksi	Massa	kmol	(kJ/km	ΔH <sub>u</sub> '
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	78	0.013	10.32	0.1431	3359.3	480.7
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	92	0.6998	557.47	7.9488	3058.5	24311
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	28	0	0.00	0	3601.7	0
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	16	0	0.00	0	4093.3	0
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	30	0.2873	228.84	2.5961	740.92	1923
Total		1	796.63			26715

Total Panas Keluar -42233

### Menghitung Kebutuhan Air Pendingin

$Q_c = H_{\text{pendingin keluar}} - H_{\text{pendingin masuk}}$

$$\begin{aligned}
 68948 &= 359.85 \text{ n air} - 90.043 \text{ n air} \\
 68948 &= 269.81 \text{ n air} \\
 &= 255.54 \text{ kmol} \\
 &= 4599.8 \text{ kg} \quad 4.5998 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Q yang diserap air pendingin

$$\begin{aligned}
 \Delta H &= \Delta H_u' - \Delta H_u \\
 &= -4.E+04 - 26715 \\
 &= -68948 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$\Delta H$  bernilai negatif (-) maka dibutuhkan air pendingin.

$\Delta H$  sama dengan  $Q_{\text{serap}}$ .

$Q_{\text{serap}}$  sebesar 68948

Berdasarkan neraca panas total

$$H_I + Q_r = H_m + H_n + Q_c + Q_{\text{loss}}$$

Q loss sebesar 0,05 Q supply maka

$$\begin{aligned}
 358687 + Q_r &= 26715 \cdot 2E+06 + 68948 \\
 358687 + Q_r &= 2E+06 + 0,05 Q_r \\
 0.95 Q_r &= 1E+06 \\
 Q_r &= 1E+06 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 69543 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

**Menghitung massa steam yang dibutuhkan**

steam yang digunakan adalah steam saturated dengan suhu 230°C dan bertekanan 2797.6 kPa

T (C)	P (kPa)	Hl (kJ/l)	Hv	Hv (kka)	Hl (kka)	$\lambda$
230	2797.6	990.3	2802	669.68	236.68	433

$$\begin{aligned}
 Q_r &= m \cdot \lambda \\
 1E+06 &= m(26,1705) \\
 m_{\text{steam}} &= 3212.2 \text{ kg} \quad 3.2122 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas Total**

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$\Delta H_u$	358687	$\Delta H_v$	26715
$Q_r$	1E+06	$\Delta H_w$	2E+06
		$Q_c$	68948
		$Q_{\text{loss}}$	69543
Total	2E+06	Total	2E+06

## APPENDIX C

### SPESIFIKASI ALAT

#### 1 Tangki Penyimpan Pentana (F-111)

Fungsi : Menyimpan pentana pada tekanan 10 atm dan temperatur 100°C

Menentukan tipe tangki penyimpan.

Tipe Tangki yang dipilih yaitu berbentuk silinder tegak dengan tutup atas dan bawah torispherical head

Menentukan bahan konstruksi.

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Carbon Steel SA-283 Grade C* dengan pertimbangan :

- a. Cocok untuk tangki dengan ketebalan < 1.25 in
- b. *Maximum allowable stress* cukup besar: 12650 psi

Menentukan dimensi tangki.

Tabel C.1 Data Densitas Komponen Tangki Penyimpanan Pentan

Komponen	C1	C2	C3	C4
$C_5H_{12}$	0.84947	0.2673	469.7	0.27789

Untuk menghitung densitas Pentana

$$\rho = C1/C2^{[1 + (1-T/C3)^{C4}]}$$

Untuk menghitung densitas air

$$\rho = C1 + C2T + C3T^2 + C4T^3$$

Komponen	BM	xi	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ campuran ( $\rho \cdot x_i$ )
$C_5H_{12}$	72.1488	1	611.7056	611.7055677
Total		1	611.7056	611.7055677

Menentukan dimensi tangki.

Bahan baku pentana disimpan untuk jangka waktu :

Jumlah pentana yang ditampung untuk kebutuhan produksi,

$$20329.29 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 7 \text{ hari} = 142305 \text{ kg}$$

Volume pentana yang ditampung,

$$\begin{aligned} \text{jumlah pentana yang ditampung} &\times \frac{1}{611.7 \text{ kg/m}^3} \\ 142305 \text{ kg} &\times \frac{1}{611.71 \text{ kg/m}^3} = 232.64 \text{ m}^3 \\ &= 1463.2 \text{ bbl} \end{aligned}$$

Menentukan diameter dan tinggi tangki,

rasio H/D = 2

Diameter tangki ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{liquid}} &= \left[ \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) H + \left( 2 \cdot 0.000049 D^3 \right) \right] \\ 232.6 &= \left( \frac{3.14 \times D^2}{4} \right) 2D + \left( 0.000049 \cdot 2D^3 \right) \\ 232.6 &= \left( 0.785 \times 2D^3 + 0.000049 \cdot 2D^3 \right) \\ D^3 &= \frac{232.6}{1.57} \\ &= 148.17 \text{ m} \\ D &= 5.2916 \text{ m} = 17.36 \text{ ft} = 208.33 \text{ in} \\ r &= 2.6458 \text{ m} = 8.68 \text{ ft} \\ H &= D \\ &= 5.2916 \text{ m} = 17.36 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menghitung tebal dan panjang *shell course* ,

Tebal *shell course* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 (Brownell & Young)

Berdasarkan *circumferential stress* ,

$$t = \frac{p \times d}{2 \times f \times E - P} + c$$

Dimana:  $t$  = Thickness of shell in  
 $p$  = Internal pressure psi  
 $d$  = Inside diameter in  
 $f$  = Allowable stress psi  
 $E$  = Joint efficiency -  
 $c$  = allowance in

menentukan tekanan desain

$$P_h = \rho_{\text{pentana}} \times \frac{H}{144}$$

$$P = 1.05 \times (P_{op} + P_h)$$

$$= 1.05 \times \left\{ 147 + \left( \rho_{As} \times \frac{H}{144} \right) \right\}$$

$$= 1.05 \times \left\{ 147 + \left( 38.187 \times \frac{17.36}{144} \right) \right\}$$

$$= 159.18 \text{ ( H - 1 ) in}$$

Untuk pengelasan, digunakan *double-welded butt joint* ,  
 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$E = 0.85 \quad (\text{Brownell \& Young, page 254})$$

$$c = 0.125$$

$$f = 12650$$



Sehingga  $t$  dapat dihitung,

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{P_{des} \times d}{2 \times f \times E - P} + c \\
 &= \frac{159.1841 \times 208.3}{2 \times 12650 \times 0.85 - 159.18} + 0.125 \\
 &= 1.679 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal head : berdasarkan pers 7.76 dan 7.77

page. 138 Brownell (1959), tebal head diperoleh sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{rc}{ri}} \right) \\
 t &= \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0.2.P}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 5.7 page 90 Brownell & Young didapatkan

$$r_c = r = 170 \text{ in}$$

$$r_i = i_c r = 13 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 W &= 0.25 \times ( 3 + 3.616 ) \\
 &= 1.7 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_h &= \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0.2.P} = \frac{159.18 \times 170 \times 1.65}{( 2 \times 12650 \times 0.9 ) - ( 0.2 \times 159.2 )} \\
 &= 2.084497 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menghitung tinggi head

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959)

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{208.3}{2} = 104.2 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 170 - 13 = 157 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 104.2 - 13 = 91.16 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0.5} = 127.82 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 170 - 127.8 = 42.18 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head  $1 \frac{3}{4}$  in diperoleh harga  $sf = 1 \frac{1}{2} - 4 \frac{1}{2}$ .

$$\text{Dipilih } sf = 4 \frac{1}{2}$$

$$\begin{aligned} Hh &= th + b + sf \\ &= 2.08 + 42.18 + 4.5 \\ &= 48.76 \text{ in} = 1.24 \text{ meter} \end{aligned}$$

### Resume Tangki Penyimpan Pentana

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= F-111
Fungsi	= Menyimpan Umpan Pentana
Tipe Tangki	= <i>Cylindrical - Torispherical Roof - Torispherical Bottom Tank</i>
Bahan Konstruksi	= Carbon Steel SA-283 Grade C
Tekana Operasi	= 10 atm
Tekanan Desain	= 11 atm
Kapasitas Tangki	= 232.6 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	= 25.49 ft
Diameter Tangki	
Diameter dalam	= 17.36 ft
Diameter luar	= 17.71 ft
Tebal <i>Shell</i>	= 1.679 in
Tinggi <i>Shell</i>	= 4.064 ft
Tebal <i>Head</i> Tangki	= 2.084 in

## 2. Pompa (L-113)

Fungsi : Mengalirkan bahan baku pentana  
dan recycle pentana ke *vaporizer*

Tujuan perancangan

- 1 Menentukan jenis pompa yang digunakan
- 2 Menghitung tenaga pompa yang digunakan
- 3 Menghitung tenaga motor

Menentukan jenis pompa yang digunakan,

Pompa yang dipilih yaitu pompa sentrifugal, dengan pertimbangan sebagai berikut,

- Viskositas liquidida yang rendah
- Konstruksi sederhana dan harga yang relatif lebih murah
- Tidak memerlukan *space* yang luas
- Biaya *maintenance* relatif lebih rendah

Menghitung tenaga pompa,

a Menghitung kapasitas pompa

$$T = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 308 \text{ K}$$

Menentukan densitas campuran komponen dengan persamaan DIPPR 105 menggunakan parameter sebagai berikut :

$$\rho = AB^{-(1-t/C)^n}$$

Dimana  $\rho$  = densitas,  $\text{kg/m}^3$   
 $T$  = temperatur, K  
 $A, B, C, n$  = Parameter Carl L. Yaws

Komponen	A	B	C	n
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	0.2305	0.26674	469.7	0.28571

$T = 35^\circ\text{C} = 308\text{ K}$        $P = 1\text{ bar}$

Komponen	kg	xi	$\rho\text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_i$
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	21595.07	1	262.4946	262.49
<b>Total</b>	21595.07	1		262.49

*Mass rate* fluida = 21595.069 kg/hari

= 47608.922 lb/hari

$\rho$  fluida = 16.39 lb/cuft

Debit fluida

$$q_f = \frac{m}{\rho} = 0.03\text{ cuft/s}$$

*Safety factor* = 10%

Debit aktual = 0.037 cuft/s

= 13.82 gpm

b Menghitung diameter optimal pipa, (hal 496)

Asumsi = Aliran turbulen,  $N_{re} > 2100$

$$D_{i,opt} = 3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$$

$$= 1.272\text{ in}$$

Dari Tabel 11 (halaman 844), *Appendix Process Heat*

*Transfer* by D. Q. Kern didapatkan,

$$D_{\text{Nominal}} = 1.5 \text{ in}$$

$$\text{Sch.No} = 40$$

$$\text{OD} = 1.9 \text{ in} = 0.158 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 1.61 \text{ in} = 0.134 \text{ ft}$$

$$a = 2.04 \text{ in}^2 = 0.014 \text{ sq.ft}$$

*Surface* /lin.ft

$$\text{OD} = 0.498 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$\text{ID} = 0.422 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

c Menghitung *friction loss*

Menghitung *velocity* fluida,

$$v = \frac{q_f}{A} = \frac{0.03}{0.014} = 2.375 \text{ fps}$$

Menghitung *Reynolds Number*

$$\log \mu = A + \frac{B}{T} + C T + D T^2$$

Dimana  $\mu$  = viskositas, cP

$T$  = temperatur, K

A, B, C, D = parameter (Carl L Yaws)

Komponen	A	B	C	D
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-7.171	747.36	0.0217	-0.00003

$$T = 35 \text{ } ^\circ\text{C} = 308 \text{ K}$$

Komponen	$x_i$	$\mu$ (cP)	$\mu \cdot x_i$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1	0.2291	0.2291

$$\mu = 0.00015373 \text{ lb/ft.s}$$

$$N_{fr} = \frac{\rho \times \text{ID} \times v}{\mu}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{Re} &= \frac{\mu}{16.39 \times 0.13 \times 2.38} \\
 &= \frac{0.00015373}{0.00015373} \\
 &= 33965.98888 \text{ (Turbulen)}
 \end{aligned}$$

Menghitung faktor friksi,

Faktor friksi ( $f$ ) dihitung menggunakan persamaan Chen (1979) yang dapat diaplikasikan pada semua nilai  $N_{Re}$  dan *relative roughness* ( $\epsilon/d$ )

$$f = \left( -2.0 \log \left\{ \frac{\epsilon}{3.7065D} - \frac{5.0452}{Re} \log \left[ \frac{1}{2.8257} \left( \frac{\epsilon}{D} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re^{0.8981}} \right] \right\} \right)^{-2}$$

Dimana,

$R$  = Reynolds Number , dimensionless

$\lambda$  = Friction factor ( $f$ ) , dimensionless

$k$  = Pipe Roughness ( $\epsilon$ ) , ft ,  $\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0002 \text{ ft}}{0.13 \text{ ft}}$

$D$  = Inside Diameter , ft

= 0.0011

Didapatkan,  $f = 0.0258$

Asumsi = Tidak terjadi perubahan ukuran diameter pipa sepanjang aliran dari tangki penyimpanan ke *vaporizer*

Menghitung *head loss* pada *fitting* Sumber : Geankoplis

Jenis Fitting	K
Elbow 90°, Regular, Flanged	0.75
Gate Valve, Flanged	0.17
Check Valve, Flanged	2
Entrance	1
Exit	0.55

Menghitung *velocity head* ,

$$g_c = 32.17 \text{ ft/s}^2$$

$$v_h = \frac{v^2}{2 \cdot g_c} = \frac{5.6}{64} = 0.088 \text{ ft/s}$$

*Head loss karena fitting ,*

<b>Jenis Fitting</b>	<b>K</b>	<b>Jumlah</b>	<b>K.v<sub>h</sub></b>
<i>Elbow 90°</i>	0.75	2	0.131
<i>Gate Valve</i>	0.17	1	0.015
<i>Check Valve</i>	2	1	0.175
<i>Entrance</i>	1	1	0.088
<i>Exit</i>	0.55	1	0.048
<b>TOTAL h<sub>F</sub></b>			<b>0.458 ft</b>

Menghitung *length equivalent*

<b>Jenis Fitting</b>	<b>Le/D</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Le/D*D</b>
<i>Elbow 90°</i>	35	2	9.39
<i>Gate Valve</i>	9	1	1.21
<i>Check Valve</i>	100	1	13.42
<b>TOTAL h<sub>F</sub></b>			<b>24.01 ft</b>

Menghitung *head loss* pada pipa lurus, menggunakan persamaan Darcy -Weisbach, hal 89

$$F_f = 4f \frac{v^2 \times (\Delta L + L_e)}{2 \cdot g_c \times ID}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.103 \times \frac{5.6 \times 159.01}{64 \times 0.1342} \\
 &= 10.72 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung *total head loss* ,

$$\begin{aligned}
 \Sigma F &= F_f + h_f \\
 &= 10.72 + 0.458 \\
 &= 1.12\text{E}+01 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung *total static head* ,

$$\begin{aligned}
 \Delta z &= 36 \text{ ft} \\
 \frac{g}{g_c} &= \frac{1 \text{ lb}_f/\text{lb}_m}{36 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb}_m} \times
 \end{aligned}$$

e Menghitung *pressure head* , ( $\Delta P/\rho$ )

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \text{Tekanan fluida dalam tangki} = 1 \text{ atm} \\
 P_2 &= \text{Tekanan operasi vaporizer} = 1.1 \text{ atm} \\
 P_1 &= 1 \text{ atm} \\
 &= 1 \times 2116.2 \text{ psf} \\
 &= 2116.22 \text{ psf} \\
 P_2 &= 1.1 \text{ atm} \\
 &= 1.1 \times 2116.2 \text{ psf} \\
 &= 2.33\text{E}+03 \text{ psf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{\rho} &= \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2327.8 - 2116.22}{16.39} \\
 &= 12.91 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb}_m
 \end{aligned}$$



f Menghitung  $-W_s$ ,

$$\begin{aligned} -W_s &= \Delta z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F && \text{Geankoplis hal 65} \\ &= 36 + 0 + 12.91 + ##### \\ &= 60.10 \text{ ft.lbf/lb}_m \end{aligned}$$

g Menghitung *Brake Horse Power* (BHP),

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= q_f \times \rho \times \frac{W_s}{550} && \text{Geankoplis hal 134} \\ &= 0.03 \times 16.39 \times 0.11 \\ &= 0.1 \text{ HP} \end{aligned}$$

Mengalirkan bahan baku pentana dan recycle pentana ke vaporizer

$$\eta_{\text{Pompa}} = 0.1$$

$$\text{BHP}_{\text{Aktual}} = \frac{\text{BHP}}{\eta_{\text{Pompa}}} = \frac{0.06}{0.1} = 0.602 \text{ hp}$$

$$\eta_{\text{Motor}} = 0.79$$

$$P_{\text{Motor}} = \frac{\text{BHP}_{\text{Aktual}}}{\eta_{\text{Motor}}} = \frac{0.6021}{0.79} = 0.762 \text{ hp}$$

### Resume Spesifikasi Pompa

Spesifikasi		Keterangan
Kode Alat	= L-112	
Fungsi	=	
Tipe Pompa	=	<i>Centrifugal Pump</i>
Kapasitas Pompa	= 0.03	cuft/s
Total Head	= 60.10	ft.lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub>
Power Pompa	= 0.602	hp
Ukuran Pipa		
D Nominal	= 1.5	in
ID	= 1.61	in
OD	= 1.9	in
Schedule No.	= 40	
Bahan	=	<i>Commercial Steel</i>
Power Motor	= 0.762	hp

### 3. Vaporizer Pentana (V-110)

#### 1. Heat Balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan dingin, } W &= 21595,069 \text{ kg/hari} \\ &= 1983,7051 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } Q &= 2163333,498 \text{ kkal/hari} \\ &= 357851,4161 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= 4996,194 \text{ kg/hari} \\ &= 458,94621 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

#### 2. LMTD

$$T_1 = 110 \text{ } ^\circ\text{C} = 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 110 \text{ } ^\circ\text{C} = 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 35 \text{ } ^\circ\text{C} = 95 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 85 \text{ } ^\circ\text{C} = 185 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(230 - 185) - (230 - 95)}{\ln \frac{(230 - 185)}{(230 - 95)}}$$

$$\text{LMTD} = 81,92 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{0}{90} = 0$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{90}{135} = 0,6667$$

Dari Fig. 18 Kern didapatkan  $F_T = 1$ , maka  $\Delta T = \text{LMTD}$

$$\Delta T = 81,92 \text{ } ^\circ\text{F}$$

### 3.

**Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan**

$$U_D = 120 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)} \quad \text{Kern Tabel 8}$$

#### 4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$OD = 1 \text{ in}$$

$$BWG = 14 \quad \text{McKetta volume 50 page 85}$$

$$L = 12 \text{ ft}$$

$$ID = 0,83 \text{ in}$$

$$a'' = 0,26 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$a_t' = 0,55 \text{ in}^2$$

#### 5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta T} = \frac{357851,4161}{120 \times 81,92} = 36,4 \text{ ft}^2$$

#### 6. Menghitung jumlah pipa dan diameter *shell*

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{36,4}{12 \times 0,26} = 11,6$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

0

##### *Shell*

$$ID : 33,00 \text{ in}$$

$$B : 6 \text{ in}$$

$$Pass : 1$$

##### *Tube*

$$No. \text{ of Tube} : 522$$

$$OD, BWG : 1,00 \text{ in } 14 \text{ BWG}$$

$$Pitch : 1,25 \text{ in triangular}$$

$$Pass : 2$$

#### 7. Mengkoreksi harga $U_D$

Menghitung harga A terkoreksi

$$A \text{ terkoreksi} = N \times L \times a''$$

$$= 1640 \text{ ft}^2$$

Menghitung harga  $U_D$  koreksi

$$U_{D \text{ koreksi}} = \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}} \\ = 2,66 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F})$$

### 8. Perhitungan $T_{av}$ dan $t_{av}$

karena viskositas yang relatif kecil maka  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{230 + 230}{2} = 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{95 + 185}{2} = 140 \text{ } ^\circ\text{F}$$

### 9. Perhitungan viskositas aliran dingin

Komp	A	B	C	D
C5H12	-8,0625	0,29881	-0,00013	3,3E-08

Sumber : Yaws (2014)

$$\mu = (A + BT + CT^2 + DT^3)$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu\text{P}$

$T$  = temperatur, K

$$T_{av} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} = 333 \text{ K}$$

Komp	$x_i$	$\mu$ ( $\mu\text{P}$ )	$\mu \cdot x_i$
C5H12	1,0000	78,80	78,80
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>78,80</b>

$$\mu = 0,00788 \text{ cP}$$

**10. Perhitungan Konduktivitas termal aliran dingin**

Komp	A	B	C
C5H12	-0,00137	0,00002	1,E-07

Sumber : Yaws (1999)

$$\lambda = (A + BT + CT^2)$$

Dimana  $\lambda$  = gas thermal conductivity  
W/m.K

T = temperatur, K

$$T_{av} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} = 333 \text{ K}$$

Komp	$x_i$	$\lambda$	$\lambda \cdot x_i$
C5H12	1,00000	0,01811	1,81E-02
<b>Total</b>	<b>1,000</b>		<b>0,0181</b>

$$\lambda = 0,01 \text{ Btu/(jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

**11. Perhitungan specific heat aliran panas**

Komp	A	B	C	D
C5H12	6,774	0,4543	-0,0002	5,E-08

Sumber : Yaws (2014)

$$C_p = (A + BT + CT^2 + DT^3)$$

Dimana  $C_p$  = specific heat , J/gmol.K

T = temperatur, K

$$T_{av} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} = 333 \text{ K}$$

Komp	BM	$x_i$	$C_p$ (J/gmol. K)	$c \cdot x_i$ (Btu/lb. F)
C5H12	72	1,0000	134,99	0,4481
<b>Total</b>		<b>1,000</b>		<b>0,4481</b>

$$c = 0,4481 \text{ Btu/lb.}^{\circ}\text{F}$$

Cold fluid (shell) : Pentana

### 12. Flow area

Menghitung C'

$$C = P_T - OD$$

$$= 1,25 - 1$$

$$= 0,25$$

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T}$$

$$= \frac{33 \times 0,25 \times 5,89}{144 \times 1}$$

$$= 0,2701 \text{ ft}^2$$

### 13. Mass velocity

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

$$= \frac{1983,705}{0,270089}$$

$$= 7344,6 \text{ lb/jam.ft}^2$$

Hot fluid (tube) : steam

### 12. Flow area

$$a_t = \frac{N \times a_t'}{144 n}$$

$$= \frac{522 \times 0,55}{144 \times 2}$$

$$= 0,9896 \text{ ft}^2$$

### 13. Mass velocity

$$G_t = \frac{w}{a_t}$$

$$= \frac{458,9462}{0,989625}$$

$$= 463,76 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$\begin{aligned}
 14. \text{ Pada } t_a &= 140 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 60 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 333 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,0079 \text{ cP} \\
 &= 0,01907 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.28 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D_e &= \frac{0,72}{12} \\
 &= 0,06 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_s &= \frac{D_e G_s}{\mu} \\
 &= \frac{0,06 \times 7344,627}{0,01907} \\
 &= 23107,895
 \end{aligned}$$

15. Dari Fig.28 Kern didapatkan

$$j_H = 90$$

$$\begin{aligned}
 16. \text{ Pada } T &= 140 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 60,00 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 333,0 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *specific heat* didapatkan

$$c = 0,45 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 14. \text{ Pada } T_a &= 230 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 110 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 383 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.15 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,01 \text{ cP} \\
 &= 0,02 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,83}{12} \\
 &= 0,0695 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{D G_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,07 \times 463,7577}{0,01984} \\
 &= 1624,2
 \end{aligned}$$



Dari perhitungan *thermal conductivity*

$$k = 0,0105 \quad \left| \begin{array}{l} \text{Btu}/(\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft}) \end{array} \right.$$

$$\left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} = 0,93$$

$$17. \quad h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \phi_s$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 90 \times \frac{0,01}{0,06} \times 0,93$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 14,7 \text{ Btu}/\text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

17. *Condensation of steam*

$$h_{io} = 1000 \text{ Btu}/\text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

### 18. *Tube-wall temperature*

$$\begin{aligned} t_w &= t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \\ &= 140 + \frac{14,674}{1014,7} (90) \\ &= 141,3 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Pada  $t_w = 141,3 \text{ } ^\circ\text{F}$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\mu_w = 0,01 \text{ cP} = 0,02 \text{ lb}/\text{ft} \cdot \text{jam}$$

**Menghitung viskositas campuran gas pada  $t_w$**

$$T = 141 \text{ } ^\circ\text{F} = 61 \text{ } ^\circ\text{C} = 334 \text{ K}$$

<b>Komp</b>	<b><math>x_i</math></b>	<b><math>\mu</math> (cP)</b>	<b><math>\mu \cdot x_i</math></b>
C5H12	1,0000	78,97	78,97
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>78,97</b>

$$\mu = 0,01 \text{ cP}$$

$$\begin{aligned} \phi_s &= \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= \left( \frac{0,02}{0,0191} \right)^{0,14} \\ &= 1 \end{aligned}$$

*Corrected coefficient*

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_a \\ &= 14,7 \times 1 \\ &= 14,7 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### 19. Clean overall coefficient

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\ &= \frac{1000 \times 14,7}{1000 + 14,7} \\ &= 14,5 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### 20. Design overall coefficient

$$\text{Diketahui external surface /ft, } a'' = 0,26 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$\begin{aligned}
 A &= N \times L \times a'' \\
 &= 522 \times 12 \times 0,26 \\
 &= 1640 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\
 &= \frac{357851,4161}{1640 \times 81,92} \\
 &= 2,66 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

## 21. *Dirt factor*

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\
 &= \frac{14 - 2,66}{14 \times 2,66} \\
 &= 0,3063 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

### Ringkasan

14,7	<i>h outside</i>	1000
$U_c$	=	14,46
$U_D$	=	2,66
$R_{d \text{ calc}}$	=	0,306
$R_{d \text{ req}}$	=	0,001

$$1. Re_s = 23107,89492$$

### **Pressure Drop**

$$f = 0,0015 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

Dari Fig.29 Kern, didapatkan

Menghitung specific gravity

Komp	$x_i$	s.g	$sg \cdot x_i$
C5H12	1	2,48	2,48
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>2,48</b>

### **2. No. of crosses**

$$N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{12}{6}$$

$$N + 1 = 24$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 3 \text{ ft}$$

$$3. \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s \phi_s}$$

$$\Delta P_s = \frac{5437510}{7773739667}$$

$$= 7,0E-04 \text{ psi}$$

$$1. Re_t = 1624,227$$

Dari Fig.26 Kern, didapatkan

$$f = 0,00023 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

*Specific volume of steam*

(Tabel 7, Kern)

$$v = 20,1 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$s = 0,05$$

$$62,5 \text{ (densitas air)}$$

$$= 0,000796$$

$$2. \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi_t}$$

$$\Delta P_t = \frac{1187}{2887881}$$

$$= 0,00 \text{ psi}$$

### Resume Spesifikasi Vaporizer

Spesifikasi	Keterangan		
Fungsi	: Merubah fase pentana liquida menjadi uap		
Jenis	: <i>Shell and tube</i> (1-2 HE)		
Jumlah	: 1		
Bahan Konstruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>		
Luas area	: 1639,9 ft <sup>2</sup>		
Temperatur			
T <sub>1</sub>	: 110	°C	
T <sub>2</sub>	: 110	°C	
t <sub>1</sub>	: 35	°C	
t <sub>2</sub>	: 85	°C	
<b>Tube</b>			
OD, BWG	: 1	in	14 BWG
ID	: 0,83	in	
Length	: 12	ft	
Jumlah tube	: 522		
Pitch	: 1,25	in	<i>triangular</i>
ΔP tube	: 0,00	psi	
<b>Shell</b>			
ΔP shell	: `	psi	
ID shell	: 33	in	
Fouling factor	: 0,306	jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu	

#### 4 Kompresor (G-212)

Fungsi : Menaikkan tekanan umpan reaktor dari 1,01 bar ke 5,6 bar

##### Memilih jenis kompresor

Kompresor yang digunakan adalah kompresor axial dengan pertimbangan sebagai berikut

- Kompresor sentrifugal umum digunakan di industri kimia.
- kompresor ini memiliki volume mesin yang besar.
- Kompresor sentrifugal tersedia/dapat digunakan untuk menaikkan tekanan hingga lebih dari 5000 lb/in<sup>2</sup> gauge.
- Dapat digunakan untuk kapasitas 1.000 – 150.000 ACFM (*Actual* ft<sup>3</sup>/menit). Penggunaan kompresor sentrifugal menjadi tidak ekonomis, bila volume *suction* di bawah 2.000 ACFM dan volume *discharge* di bawah 500 ACFM. Volume maksimum adalah 150.000 ACFM.
- Kompresor ini tidak mengotori gas kompresi oleh minyak pelumas.
- Biaya perawatan kompresor ini rendah.
- Dalam operasinya membutuhkan biaya awal lebih rendah dibanding kompresor *reciprocating* .
- Kapasitas dari kompresor sentrifugal dapat dikontrol dengan mengatur kecepatan, mengurangi tekanan pada bagian *suction* , dan dengan mengatur pengendali *vane* pada bagian *inlet* .
- Kompresor sentrifugal dapat digunakan untuk gas yang mengandung padatan maupun cairan. Umumnya beberapa kompresor tidak dapat digunakan pada kondisi tersebut.
- Konstruksinya sederhana.

(Sumber : John J. McKetta, volume 10, 1979)

Fungsi : Menaikkan tekanan umpan reaktor dari 1 atm ke 5,5 atm

### Komposisi gas masuk

Komp	kg/hari	xi	BM	kmol/hari	xi	BM <sub>av</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	21595.069	0.5167	72	299.31	0.5127	36.99
Cl <sub>2</sub>	20197.409	0.4833	71	284.47	0.4873	34.60
<b>Total</b>	<b>41792.478</b>	<b>1</b>		<b>583.78</b>	<b>1.0000</b>	<b>71.59</b>

Perhitungan kompresor menggunakan cara pada Ludwig vol 3, Bab 12 :

$$T_{s \text{ (in)}} = 85 \text{ }^{\circ}\text{C} = 185 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$P_{in} = 1 \text{ bar} = 15 \text{ psia}$$

$$P_{out} = 5.6 \text{ bar} = 82 \text{ psia}$$

Mencari nilai k (Cp/Cv) dari aliran masuk kompresor

Komponen	Cp/Cv (k)	xi	x.k
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1.070	0.51672	0.552892
Cl <sub>2</sub>	1.360	0.48328	0.657259
<b>Total</b>	<b>3.430</b>	<b>1.00000</b>	<b>1.210151</b>

$$k = 1.2102$$

$$BM_{Av} = 71.59 \text{ kg/kmol} = 71.59 \text{ lb/lbmol}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{41792.48 \text{ kg/hari} \times 2.2046 \text{ lb/kg} \times 359 \text{ ft}^3/\text{lbmol}}{71.59 \text{ lb/lbmol}} \\
 &= 462036.3232 \text{ ft}^3/\text{hari (SCFD)} \\
 &= 320.86 \text{ ft}^3/\text{menit (SCFM)}
 \end{aligned}$$

$$= 8.984 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 539.0424 \text{ m}^3/\text{s}$$

### Penentuan jumlah *stage*

$$r = \sqrt[N]{\frac{P_{out}}{P_{in}}}$$

Robinsmith (B.47) *page* 659

*Overall stage*

$$N = 4 \text{ stage}$$

$$\text{Rasio kompresi (Rc)} = 1.5344992$$

*Range* Rc maks adalah 1,2 - 1,5 (Tabel 12-1, Untuk Ludwig Vol.3 *Axial Flow Compressor page* 369)

Maka jumlah *stage* 4 memenuhi

### Menghitung temperatur keluar kompresor

$$T_d = T_s \times \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{Nk}} \quad \text{Peter \& Timmerhaus } \textit{page} \text{ 525}$$

$$T_d = 91.56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Menghitung tekanan pada tiap *stage*

*Pressure drop* untuk gas = 1 psi

a) *Stage* pertama (example 12.6 Ludwig vol 3)

$$P_s = 14.85 \text{ psia}$$

$$P_d = 14.85 \times 1.534 = 22.783 + 0.5 = 23.28 \text{ psia}$$

$$Rc = \frac{23.28}{14.85}$$

$$= 1.568$$

b) *Stage* kedua

$$P_s = 23.28 - 1 = 22.28 \text{ psia}$$



$$\begin{aligned}
 P_d &= 22.28 \times 1.534 = 34.193 + 0.5 = 34.69 \text{ psia} \\
 R_c &= \frac{34.69}{23.28} \\
 &= 1.49
 \end{aligned}$$

c) *Stage* ketiga

$$\begin{aligned}
 P_s &= 34.69 - 1 = 33.69 \text{ psia} \\
 P_d &= 33.69 \times 1.534 = 51.702 + 0.5 = 52.20 \text{ psia} \\
 R_c &= \frac{52.20}{34.69} \\
 &= 1.505
 \end{aligned}$$

d) *Stage* keempat

$$\begin{aligned}
 P_s &= 52.20 - 1 = 51.20 \text{ psia} \\
 P_d &= 51.20 \times 1.534 = 78.569 + 0.5 = 79.07 \text{ psia} \\
 R_c &= \frac{79.07}{52.20} \\
 &= 1.515
 \end{aligned}$$

### Menghitung temperatur keluar pada tiap *stage*

a) *Stage* pertama

$$T_2 = T_1 \times \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{Nk}}$$

$$T_2 = 188.6 \text{ } ^\circ\text{F} = 87.03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b) *Stage* kedua

$$T_2 = 192.3 \text{ } ^\circ\text{F} = 89.06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

c) *Stage* ketiga

$$T_2 = 196 \text{ } ^\circ\text{F} = 91.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d) *Stage* keempat

$$T_2 = 199.7 \text{ } ^\circ\text{F} = 93.17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### ***Stage pertama***

$$\text{BHP/MMCFD} = 31.5$$

(Gambar.12.21-B, untuk  $R_c = 1,57$  dan  $k = 1,2102$ )

$$\text{Efisiensi Mekanik} = 95\%$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= 462036.3232 \times \frac{14.7}{14.4} \times \frac{(460 + 185)}{(460 + 60)} \\ &= 585042.39 \text{ CFD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= 31.5 \times \frac{585042.39}{1000000} \\ &= 18.42884 \text{ hp} \end{aligned}$$

### ***Stage kedua***

$$\text{BHP/MMCFD} = 28.9$$

(Gambar.12.21-B, untuk  $R_c = 1,49$  dan  $k = 1,2102$ )

$$\text{Efisiensi Mekanik} = 95\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= 462036.3232 \times \frac{14.7}{14.4} \times \frac{(460 + 188.6)}{(460 + 60)} \\
 &= 588352.23 \text{ CFD}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BHP} &= 28.9 \times \frac{588352.23}{1000000} \\
 &= 17.00338 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

### **Stage Ketiga**

$$\text{BHP/MMCFD} = 29$$

(Gambar.12.21-B, untuk  $R_c = 1,5$  dan  $k = 1,2102$ )

$$\text{Efisiensi Mekanik} = 95\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= 462036.3232 \times \frac{14.7}{14.4} \times \frac{(460 + 192.3)}{(460 + 60)} \\
 &= 591672.89 \text{ CFD}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BHP} &= 29 \times \frac{591672.89}{1000000} \\
 &= 17.15851 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

### **Stage Kempat**

$$\text{BHP/MMCFD} = 29.3$$

(Gambar.12.21-B, untuk  $R_c = 1,51$  dan  $k = 1,2102$ )

$$\text{Efisiensi Mekanik} = 95\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= 462036.3232 \times \frac{14.7}{14.4} \times \frac{(460 + 196)}{(460 + 60)}
 \end{aligned}$$

$$= 594994.91 \text{ CFD}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= 29.3 \times \frac{594994.91}{1000000} \\ &= 17.43335 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP Total} &= 18.429 + 17.003 + 17.159 + 17.433 \\ &= 70.024 \text{ hp} \end{aligned}$$

Bahan Konstruksi = *Cast Steel*

(Tabel 12-8 Ludwig vol 3, untuk tekanan tinggi)

### **Resume Spesifikasi Kompresor**

<b>Spesifikasi</b>	<b>Keterangan</b>
No. Kode	= G-212
Fungsi	= Menaikkan tekanan umpan reaktor dari 1,01 bar ke 5,6 bar
Jenis	= <i>Axial Compressor (4 stage)</i>
Bahan	= <i>Cast Steel</i>
Tekanan <i>stage</i> 1	= 23.28 psi
Tekanan <i>stage</i> 2	= 34.69 psi
Tekanan <i>stage</i> 3	= 52.20 psi
Tekanan <i>stage</i> 4	= 79.07 psi
<i>Power</i>	= 70.02 hp
Jumlah <i>stage</i>	= 4

## 5 Heater (E-213)

### 1. Heat balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } Q &= 383704,3337 \text{ kkal/hari} \\ &= 63471,09187 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= 886,16077 \text{ kg/hari} \\ &= 81,40 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan dingin, } W &= 41792,478 \text{ kg/hari} \\ &= 3839,02 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

### 2. LMTD

$$T_1 = 220 \text{ }^{\circ}\text{C} = 428 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_2 = 220 \text{ }^{\circ}\text{C} = 428 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t_1 = 92 \text{ }^{\circ}\text{C} = 198 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t_2 = 120 \text{ }^{\circ}\text{C} = 248 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(\text{ } 428 - 248 \text{ )} - (\text{ } 428 - 198 \text{ )}}{\ln \frac{(\text{ } 428 - 248 \text{ )}}{(\text{ } 428 - 198 \text{ )}}}$$

$$\text{LMTD} = 204,16 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

### 3. Temperatur rata-rata

karena viskositas yang relatif kecil  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{428 + 428}{2} = 428 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{198 + 248}{2} = 223 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

#### 4. Memilih ukuran pipa

Dari Tabel 6.1 hal 103 dan Tabel 11 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

*Outer pipe* , IPS = 2,5

*Inner pipe* , IPS = 1,25

ID = 1,38 in = 0,12 ft

OD = 1,66 in = 0,14 ft

L = 12 ft

Dari Tabel 6.2 hal 110 Kern didapatkan data *flow area* dan *annulus*

$$a_a = 2,63 \text{ in}^2 = 0,01826 \text{ ft}^2$$

$$a_p = 1,5 \text{ in}^2 = 0,01042 \text{ ft}^2$$

$$D_e = 2,02 \text{ in} = 0,16833 \text{ ft} \quad (\text{annulus})$$

$$D_e' = 0,81 \text{ in} = 0,0675 \text{ ft}$$

$$ID = 1,38 \text{ in} = 0,115 \text{ ft} \quad \text{Tabel 11 hal 844 Kern}$$

*Cold fluid (annulus) :*  
*pentana dan klorin*

#### 5. Mass velocity

$$\begin{aligned} G_a &= \frac{W}{a_a} \\ &= \frac{3839,02}{0,01826} \\ &= 210197,4 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{6. Pada } t_c &= 223 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 106,00 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 379,00 \text{ K} \end{aligned}$$

*Hot fluid (inner pipe) :*  
*steam*

#### 5. Mass velocity

$$\begin{aligned} G_p &= \frac{w}{2 \times a_p} \\ &= \frac{81,402}{0,02083} \\ &= 3907,296 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{6. Pada } T_c &= 428 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 220 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 493 \text{ K} \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas  
didapatkan

$$\begin{aligned}\mu &= 0,01288 \text{ cP} \\ &= 0,03118 \text{ lb/ ft.jam}\end{aligned}$$

Dari Fig.15 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}\mu &= 0,0141 \text{ cP} \\ &= 0,03412 \text{ lb/ ft.jam}\end{aligned}$$

**Menghitung viskositas campuran gas pada  $t_c = 163^\circ\text{F}$**

Komponen	A	B	C	D
C5H12	-8,0625	0,2988	-0,0001	0,0000
Cl2	-11,133	0,528	-0,0001	0,0000

*Sumber : Yaws (2014)*

$$\mu = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu\text{P}$

T = temperatur, K

Komponen	$x_i$	$\mu$ ( $\mu\text{P}$ )	$\mu \cdot x_i$
C5H12	0,50414	89,04	44,89
Cl2	0,49586	169,31	83,95
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>128,84</b>

$$\begin{aligned}\text{Re}_a &= \frac{D_e G_a}{\mu} \\ &= \frac{0,168 \times 210197,4}{0,03118} \\ &= 1134842\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Re}_p &= \frac{D G_p}{\mu} \\ &= \frac{0,115 \times 3907,3}{0,03412} \\ &= 13168,6\end{aligned}$$

7. Dari Fig. 24 Kern  
didapatkan  $j_H$   
 $j_H = 1000$

8. Pada  $t_c = 223 \text{ } ^\circ\text{F}$   
 $= 106,00 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $= 379,00 \text{ K}$

Dari perhitungan *specific heat* didapatkan

$$c = 0,30 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Dari perhitungan *thermal conductivity*

$$k = 0,0100 \text{ Btu/(jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

**Menghitung *specific heat* pada  $t_c = 239 \text{ } ^\circ\text{F}$**

Komponen	A	B	C	D	E
C5H12	0,450	0,45000	-0,00017	0,00000	2,1E-11
Cl2	26,550	0,03000	-0,00005	0,00000	-7E-12

*Sumber : McKetta volume 36*

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

Dimana  $C_p$  = *heat capacity*, J/gmol.K

T = temperatur, K



Komponen	BM	$x_i$	$C_p$ (J/gmol.K)	$c \cdot x_i$ (Btu/lb.F)
C5H12	72	0,50414	145,33	0,24320
Cl2	71	0,49586	32,19	0,05374
<b>Total</b>		<b>1,00000</b>		<b>0,29694</b>

Menghitung *thermal conductivity* gas pada  $t_c = 239^\circ\text{F}$

Komponen	A	B	C
C5H12	-0,0014	0,00002	0,00000
Cl2	-0,0019	0,00004	0,00000

Sumber : Yaws (1999)

$$\lambda_{\text{gas}} = A + BT + CT^2$$

Dimana  $\lambda_{\text{gas}}$  = gas *thermal conductivity*, W/m.K

T = temperatur, K

Komponen	$x_i$	$\lambda$ (W/m.K)	$k \cdot x_i$ (Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F/ft)
C5H12	0,50414	0,02	0,00668
Cl2	0,49586	0,01	0,00334
<b>Total</b>	<b>1,00000</b>		<b>0,01002</b>

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = 0,97$$

$$9. \quad h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \phi_a$$

$$\frac{h_o}{\phi_a} = 1000 \times \frac{0,01}{0,17} \times 0,97$$

$$\frac{h_o}{\phi_a} = 57,98 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$10. \quad t_w = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$$

$$= 223 + \frac{1200}{1258} (205)$$

$$= 419 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Pada  $T = 419 \text{ } ^\circ\text{F}$

Dari perhitungan  
viskositas didapatkan

$$\mu = 0,01628 \text{ cP}$$

$$= 0,03941 \text{ lb/ft.jam}$$

9. *Condensation of steam*

$$h_{io} = 1200$$

$$\text{Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

**Menghitung viskositas campuran gas pada  $t_c = 294 \text{ } ^\circ\text{F}$**

Komponen	A	B	C	D
C5H12	-8,0625	0,2988	-0,0001	0,0000
Cl2	-11,133	0,5275	-0,0001	0,0000

*Sumber : Yaws (2014)*

$$\mu = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu\text{P}$

$T$  = temperatur, K

$$T = 419 \text{ }^{\circ}\text{F} = 215 \text{ }^{\circ}\text{C} = 488 \text{ K}$$

Komponen	$x_i$	$\mu$ ( $\mu\text{P}$ )	$\mu \cdot x_i$
C5H12	0,50414	111,80	56,36
Cl2	0,49586	214,71	106,47
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>162,83</b>

$$\begin{aligned}\phi_a &= \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right) \\ &= \left( \frac{0,03}{0,04} \right)^{0,14} \\ &= 0,968\end{aligned}$$

*Corrected coefficient*

$$\begin{aligned}h_o &= \frac{h_o}{\phi_a} \times \phi_a \\ &= 58 \times 0,97 \\ &= 56,1 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

#### 11. Clean overall coefficient

$$\begin{aligned}U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\ &= \frac{1200 \times 56,1}{1200 + 56,1} \\ &= 53,6 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

#### 12. Design overall coefficient

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d$$

Dari Tabel 10-13 Ludwig vol 3  $R_d = 0.001$

$$\begin{aligned} R_d &= 0,001 + 0,001 \\ &= 0,002 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu} \end{aligned}$$

sehingga

$$U_D = 48,4108 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Ringkasan

56,1	h outside	1200
$U_c$	=	53,60
$U_D$	=	48,41

### 13. Surface

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta t}$$

$$A = \frac{63471,09}{48 \times 204,16}$$

$$A = 6,42 \text{ ft}^2$$

Dari Tabel 11 Kern didapatkan

*external surface*/lin ft,  $a'' = 0,435 \text{ ft}$

$$\begin{aligned} \text{Required length} &= \frac{A}{a''} \\ &= \frac{6,42}{0,435} \\ &= 15 \text{ lin ft} \end{aligned}$$

maka jumlah *hairpin* yang dibutuhkan sebanyak

$$= \frac{15}{24} = 1 \text{ hairpin}$$

**14. Fouling factor**

$$\begin{aligned}\text{Actual surface} &= 24 \times 0,435 \\ &= 10,44 \text{ ft}^2\end{aligned}$$

*Actual design coefficient*

$$\begin{aligned}U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{63471,09187}{10,4 \times 204,2} \\ &= 29,778 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\ &= \frac{54 - 29,8}{54 \times 29,8} \\ &= 0,01493 \text{ jam.ft}^2.\text{°F/Btu}\end{aligned}$$

Dari Tabel 10-13 Ludwig diketahui  $R_d$  0.002 sehingga dapat disimpulkan bahwa  $R_d$  yang didapatkan dari perhitungan memenuhi kriteria perancangan

***Pressure Drop***

$\begin{aligned}1. \text{Re}_a' &= \frac{D_e' G_a}{\mu} \\ &= \frac{0,068 \times 210197,4}{0,03} \\ &= 455060\end{aligned}$	$\begin{aligned}1. \text{Re}_p &= 13168,6 \\ f &= 0,0035 + \frac{0,264}{\text{Re}_p^{0,42}}\end{aligned}$
---	---

$$\begin{aligned}
 f &= 0,0035 + \frac{0,264}{\text{Re}_a^{0,42}} \\
 &= 0,0035 + \frac{0,264}{237,90} \\
 &= 0,00461
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *specific gravity* didapatkan

$$s = 2,47$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= 2,47 \times 62,5 \\
 &= 154 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

### **Menghitung *specific gravity***

Komponen	$x_i$	s.g	sg. $x_i$
C5H12	0,50414	2,483	1,252
Cl2	0,49586	2,448	1,214
<b>Total</b>	<b>1,00000</b>		<b>2,466</b>

$$\begin{aligned}
 2. \Delta F_a &= \frac{4fG_a^2 L}{2g\rho^2 D_e'} \\
 \Delta F_a &= \frac{19552437391,91}{1340097690493} \\
 &= 0,015 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0035 + \frac{0,264}{53,73} \\
 &= 0,00841
 \end{aligned}$$

Karena digunakan *steam* dengan temperatur 220°C = 428°F, maka dari Tabel 7 Kern didapatkan *specific volume* sebesar

$$v = 1,09 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{1,09} \\
 &= 0,917 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \Delta F_p &= \frac{4fG_p^2 L}{2g\rho^2 D} \\
 \Delta F_p &= \frac{6165583}{80919115} \\
 &= 0,076 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad V &= \frac{G_a}{3600 \times \rho} \\
 &= \frac{210197}{3600 \times 154} \\
 &= 0,4 \text{ fps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta F_l &= 1 \left( \frac{V^2}{2g'} \right) \\
 &= 1 \left( \frac{0,1}{64} \right) \\
 &= 0,004 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P_a &= \frac{(\Delta F_a + \Delta F_l) \times \rho}{144} \\
 &= \frac{2,94}{144} \\
 &= 0,02 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

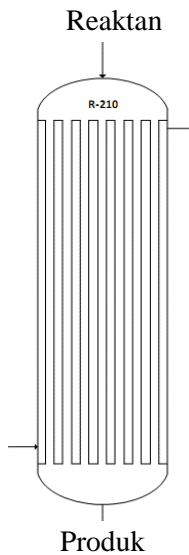
$$\begin{aligned}
 \Delta P_p &= \frac{\Delta F_p \times \rho}{144} \\
 &= \frac{0,076 \times 0,917}{144} \\
 &= 0 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

### Resume Spesifikasi Preheater

Spesifikasi	Keterangan	
Kode Alat	= E-211	
Fungsi	= Menaikkan suhu umpan etilena	
Jenis	= DPHE	
Jumlah	= 1	
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>	
Luas Area	= 10,4 ft <sup>2</sup>	
Temperatur		
T <sub>1</sub>	= 428 °F	
T <sub>2</sub>	= 428 °F	
t <sub>1</sub>	= 198 °F	
t <sub>2</sub>	= 248 °F	
<i>Outer pipe</i>	= 2,5	
<i>Inner pipe</i>	= 1,25	
<i>Length</i>	= 12 ft	
Jumlah hairpin	= 1	
<i>Fouling factor</i>	= 0,015	jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu
$\Delta P$ annulus	= 0,02	psi
$\Delta P$ inner pipe	= 0,0005	psi



## 6. Reaktor (R-210)



Kode : R-210

Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi pentana dan khlorin membentuk amil khloride dan asam khlorida

Tujuan :

1. Menentukan kondisi umpan
2. Menghitung tinggi reaktor
3. Menghitung volume reaktor

### 1. Menentukan Kondisi Feed

#### A. Menghitung BM Feed

Untuk menghitung BM feed digunakan persamaan:

$$BM = \sum (Y_i \times B_{mi})$$

$$\text{Laju Feed} = 41792.5 \text{ kg/hari} = 1741.4 \text{ kg/jam}$$

Komponen	BM	kmol/hari	Y <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub> x B <sub>mi</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	299.31302	0.517	37.28082
HCl	36.51	284.47055	0.483	17.6435
Total		583.78357	1	54.92433

## B. Menghitung harga Z Feed

$$Z = 1 + \left[ \frac{B.P_c}{R.T_c} \right] \left[ \frac{P_r}{T_r} \right]$$

Persamaan yang digunakan untuk menghitung  $P_c$ ,  $T_c$ , dan  $\omega$  campuran diperoleh dari Smith Van Ness 6th edition persamaan 3.58 hal 102

$$P_c = \sum (Y_i \times P_{ci})$$

$$T_c = \sum (Y_i \times T_{ci})$$

$$\omega = \sum (Y_i \times \omega_i)$$

Komponen	Yi	Pc(atm)	Tc(K)	$\omega$	Yi x Pc	Yi x Tc	Yi x $\omega$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1	33.26	469.7	0.25	17.1858	242.704	0.13021
HCl	0	82.01	324.65	0.13	39.6353	156.896	0.06355
Total	1				56.8211	399.6	0.19376

Feed masuk reaktor pada kondisi:

$$T = 260^\circ\text{C} = 533\text{ K}$$

$$P = 5.5\text{ atm}$$

$$T_c = 400\text{ K} \quad P_c = 57\text{ atm} \quad \omega = 0.1938$$

(Smith Vannes, Hal 98)

$$T_R = \frac{T}{T_c} = \frac{533}{400} = 1.3$$

$$B^0 = 0.083 - \frac{0.422}{(T_R)^{1.6}} = 0.083 - \frac{0.422}{1.585} = -0.18$$

$$P_R = \frac{P}{P_c} = \frac{5.5}{57} = 0.0965$$

$$B^1 = 0.139 - \frac{0.172}{(T_R)^{4.2}} = 0.139 - \frac{0.172}{1.3^{4.2}} = 0.139 - 0.0130 = 0.126$$

$$\begin{aligned} \frac{-57}{0.1} &= -0.133 - 3.353 \\ &= 0.088 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} &= B^0 + \omega \times B^1 \\ &= -0.183 + 0.088 \\ &= -0.166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} \times \frac{P_R}{T_R} \\ &= 1 + -0.2 \times \frac{0.1}{1.33} \\ &= 0.988 \end{aligned}$$

### C. Menghitung Densitas Umpan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{P \cdot BM}{Z R T} = \frac{5.5 \times 54.92}{0.988 \times 83 \times 533} = 0.007 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ &= 6.9 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

### D. Menghitung viskositas umpan (gas)

Komponen	A	B	C	D
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-8.063	0.299	-0.0001	3.34E-08
HCl	-16.850	0.5988	-0.0002	3.83E-08

$$\mu = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu\text{P}$

T = temperatur, K

A, B, C, D = parameter (Carl L Yaws)

$$T = 260 \text{ } ^\circ\text{C} = 533 \text{ K}$$

Komponen	$x_i$	$\mu$ ( $\mu$ P)	$\mu \cdot x_i$
$C_5H_{12}$	0.516721	120.7256	62.38153
HCl	0.483279	256.1266	123.7805
Total	1		186.162

$$\mu = 0.019 \text{ cP} = 0.045034 \text{ lb/ft.jam}$$

### E. Laju Volumetrik Feed ( $v$ )

$$\begin{aligned} \text{Laju umpan} &= 41792.5 \text{ kg/hari} \\ (m) &= 1741.35 \text{ kg/jam} \\ &= 0.48371 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{\text{laju umpan}}{\rho} \\ &= \frac{0.4837}{6.9001597} \\ &= 0.0701012 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 70.101165 \text{ dm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

### Menghitung Volume, Diameter dan Tinggi Reaktor

Asumsi liquid menempati 80% dari volume reaktor, maka

$$\begin{aligned} \frac{V}{\text{reaktor}} &= \frac{100}{80} \times V_{\text{feed}} \\ &= 1.25 \times 4.206 \\ &= 5.25758739 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Diambil  $L/D = 2$  ;  $L = 2 D$

Jadi :

$$\begin{aligned} V_{\text{reaktor}} &= 1/4 \cdot \phi \cdot D L \\ 5.2576 &= 0.25 \times 3.14 \times 2 D^3 \\ D &= 1.496 \text{ m} = 59 \text{ in} \\ L &= 3 \text{ m} = 117.8 \text{ in} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\text{Diameter reaktor} = 59 \text{ in} = 4.908 \text{ ft} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi reaktor} = 117.8 \text{ in} = 9.817 \text{ ft} = 3 \text{ m}$$

### Perhitungan Tebal Bejana

$$p = 110\% \times P = 5.5 \text{ atm} = 80.85 \text{ psia}$$

$$D = 59 \text{ in}$$

$$f = 17500 \text{ psia}$$

$$E = 0.8$$

$$c = 0.25$$

(Brownell, Hal 252 untuk SA-104 Grade 1

time 310)

(Tabel 13.2, Hal 254 untuk Double-welded butt joint)

$$t_s = \frac{pD}{2(fE - 0.6P)} + C$$

$$= \frac{80.85 \times 59}{2 \times (17500 \times 0.8 - 0.6 \times 80.85)} + 0.25$$

$$t_s = 0.42067 \text{ in}$$

$$\text{Dipilih } t_s = 0.438 \text{ in}$$

Dari tabel 5.7 page 90 Brownell & Young didapatkan

$$r_c = r = 60 \text{ in}$$

$$r_i = i_c r = 3.6 \text{ in}$$

Menghitung tinggi head

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{59}{2} = 29.45 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 60 - 3.625 = 56.375 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 29.5 - 3.6 = 25.83 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0.5} = 50.112 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 60 - 50.11 = 10 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head 7/16 in diperoleh harga  $sf = 1 \frac{1}{2} - 3 \frac{1}{2}$ .

Dipilih  $sf = 3 \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} Hh &= th + b + sf \\ &= 0.42 + 9.89 + 3.5 \\ &= 13.81 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi	Keterangan
No. kode	: R-210
Fungsi	: Tempat reaksi pembentukan amil khloride
Tipe	: Tubular Reactor (Shell and Tube)
Kapasitas	: 5.25759 m <sup>3</sup>
Bahan konstruksi	: Low -alloy steel SA - 302 Grade B
Tipe sambungan	: Double welded but joint
Jenis tutup	: Torispherical Head
Tinggi Reaktor	: 3 m
Tebal Reaktor	: 0,44 in
Tebal tutup	: 0,44 in
Jumlah	: 1 buah

## 7. Waste Heat Boiler (E-221)

### 1. Heat Balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } W &= 41792.5 \text{ kg/hari} \\ &= 3839.024223 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan dingin, } Q &= 4347562.04 \text{ kkal/hari} \\ &= 719159.2208 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= 2032.06497 \text{ kg/hari} \\ &= 186.6637948 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

### 2. LMTD

$$T_1 = 260 \text{ } ^\circ\text{C} = 500 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 45 \text{ } ^\circ\text{C} = 113 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 230 \text{ } ^\circ\text{C} = 446 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(500 - 446) - (113 - 86)}{\ln \frac{(500 - 446)}{(113 - 86)}}$$

$$\text{LMTD} = 38.95 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{387}{360} = 1.1$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{360}{414} = 0.87$$

Dari Fig. 18 Kern, karena nilai  $R = 0$  maka  $F_T = 0,98$

$$\begin{aligned} F_T &= 0.98 \\ \text{maka } \Delta t &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 0.98 \times 38.95 \\ &= 38.17 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Penentuan *number of shell passes* berdasarkan temperatur

$$\begin{aligned} &= \frac{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \\ &= \frac{747}{414} \\ &= 1.80 \end{aligned}$$

Berdasarkan *Rules of Thumb in Engineering Practice* by Donald R. Woods (Halaman 70) untuk *ratio* 0,8 - 1,1 *number of shell passes* adalah 1

Sehingga digunakan HE tipe 1

### 3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 150 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

Dari data viskositas, maka di dapatkan nilai  $U_D$  pada Kern table 8 halaman 840

### 4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 1 \text{ in} && \text{Ludwig volume 3 page 35} \\ \text{BWG} &= 14 && \text{McKetta volume 50 page 85} \\ \text{L} &= 12 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 0.834 \text{ in} \end{aligned}$$



$$a'' = 0.262 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$a_t' = 0.546 \text{ in}^2$$

### 5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{719159.2208}{150 \times 38.95} = 123.08 \text{ ft}^2$$

### 6. Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{123.082}{12 \times 0.262} = 39.18$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

Shell	Tube
ID : 23.25 in	No. of Tube : 232
B : 6 in	OD, BWG : 1 in 14 BWG
Pass : 1	Pitch : 1.25 in triangular
	Pass : 2

Asumsi maksimum *baffle space*

### 7. Mengkoreksi harga $U_D$

Menghitung harga A terkoreksi

$$\begin{aligned} A \text{ terkoreksi} &= N_t \times L \times a'' \\ &= 728.9 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Menghitung harga  $U_D$  koreksi

$$\begin{aligned} U_{D \text{ koreksi}} &= \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}} \\ &= 25.848 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}) \end{aligned}$$

### 8. Perhitungan $T_{av}$ dan $t_{av}$

karena viskositas yang relatif kecil,  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{500 + 113}{2} = 306.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{86 + 446}{2} = 266 \text{ } ^\circ\text{F}$$

### 9. Perhitungan viskositas aliran panas

Komponen	A	B	C	D
$C_5H_{12}$	-8.063	0.299	-0.0001	3.34E-08
HCl	-16.850	0.5988	-0.0002	3.83E-08
$C_5H_{11}Cl$	3.505	0.2250	3E-05	-2.6E-08
$C_5H_{10}Cl_2$	5.177	0.2229	0.0001	3.37E-08

Sumber : Yaws (2014)

$$\mu = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu\text{P}$   
 $T$  = temperatur, K  
 $A, B, C, D$  = parameter (Carl L Yaws)

$$T_c = 306.5 \text{ } ^\circ\text{F} = 562.4 \text{ K}$$

Komponen	$x_i$	$\mu$ ( $\mu\text{P}$ )	$\mu \cdot x_i$
$C_5H_{12}$	0.030534	126.3719	3.85869
HCl	0.2485	268.8659	66.81319
$C_5H_{11}Cl$	0.711359	134.2963	95.53288
$C_5H_{10}Cl_2$	0.009607	152.3735	1.463783
Total	1		167.6685

$$\mu = 0.017 \text{ cP}$$

**10. Perhitungan konduktivitas termal aliran panas**

Komponen	A	B	C
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-0.00137	1.81E-05	1.21E-07
HCl	0.00119	4.48E-05	2.1E-10
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	-0.00691	0.00004	5.04E-08
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	-0.00306	2.08E-06	4.4E-08
Total	-0.01015		2.16E-07

Sumber : Yaws (2014)

$$\lambda = (A + BT + CT^2)$$

Dimana:  $\lambda$  = gas thermal conductivity

W/m.K

T = temperaturK

$$T_c = 306.5 \text{ } ^\circ\text{F} = 562.4 \text{ K}$$

Komponen	x <sub>i</sub>	$\lambda$	$\lambda \cdot x_i$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.030534	0.047188	0.001441
HCl	0.2485	0.026439	0.00657
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0.711359	0.031523	0.022424
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0.009607	0.012015	0.000115
Total	1		0.030551

$$\lambda = 0.018$$

**10. Perhitungan specific heat aliran panas**

Komponen	A	B	C	D
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	80.641	0.62195	-0.00227	3.74E-06
HCl	73.993	-0.12946	-7.9E-05	2.64E-06
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	99.232	0.63409	-1.91E-03	2.6E-06
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	109.864	0.71412	-0.00186	2.18E-06

Sumber : Yaws (2014)

$$C_p = (A + BT + CT^2 + DT^3)$$

Dimana:  $C_p$  = specific heat, J/gmo.K

T = temperatur K

$$T_c = 306.5 \text{ } ^\circ\text{F} = 562.4 \text{ K}$$

Komponen	BM	$x_i$	$C_p$ (J/gmol. K)	$C_p$ (Btu/lb.F )
$C_5H_{12}$	72.15	0.030534	378.7474	0.03831
HCl	36.51	0.2485	446.0407	0.725623
$C_5H_{11}Cl$	106.6	0.711359	314.1009	0.500763
$C_5H_{10}Cl_2$	141.1	0.009607	310.3832	0.005049
Total		1		1.269745

$$c = 1.26974 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Hot fluid (shell) : vapor

Cold fluid (tube) : water

### 10. Flow area

Menghitung  $C'$

$$C' = P_T - OD$$

$$= 1.25 - 1$$

$$= 0.25$$

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T}$$

$$= \frac{23 \times 0.25 \times 5.813}{144 \times 1.25}$$

$$= 0.1877 \text{ ft}^2$$

### 10. Flow area

$$a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 n}$$

$$= \frac{232 \times 0.546}{144 \times 2}$$

$$= 0.4398 \text{ ft}^2$$

**11. Mass velocity (Gs)**

$$\begin{aligned}
 G_s &= \frac{W}{a_s} \\
 &= \frac{3839.024}{0.187695} \\
 &= 20453 \text{ lb/jam.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{12. Pada } t_a &= 306.5 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 152.5 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 425.5 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0.017 \text{ cP} \\
 &= 0.04 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.28 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D_e &= \frac{0.72}{12} \\
 &= 0.06 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

**11. Mass velocity (Gt)**

$$\begin{aligned}
 G_t &= \frac{w}{a_t} \\
 &= \frac{186.66379}{0.4398} \\
 &= 424.3967 \text{ lb/jam.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{G_t}{3600 \times \rho_{\text{air}}} \\
 &= \frac{424.3966535}{3600 \times 62.5} \\
 &= 0.0019 \text{ fps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{12. Pada } t_a &= 266 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 130 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 403 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.14 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0.60 \text{ cP} \\
 &= 1.45 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 hal 843  
Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0.834}{12} \\
 &= 0.07 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 4

$$\begin{aligned} \text{Re}_t &= \frac{DG_t}{\mu} \\ &= \frac{0.06 \times 20453}{0.04} \\ &= 30245 \end{aligned}$$

Dari Fig. 28 Kern  
didapatkan  $j_H$

$$j_F = 90$$

$$\begin{aligned} \mathbf{13.} \text{ Pada } t_a &= 306.5 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 152.5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 425.5 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

*specific heat*  
didapatkan

$$c = 1.27 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Dari perhitungan *thermal conductivity*

$$k = 0.0177$$

$$\text{Btu/(jam)(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F/ft)}$$

$$\left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} = 1.4$$

$$\begin{aligned} \text{Re}_t &= \frac{DG_t}{\mu} \\ &= \frac{0.1 \times 424.4}{1.45} \\ &= 20.314 \end{aligned}$$

$$14. h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \phi_s$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 90 \times \frac{0.02}{0.06} \times 1$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 37.8 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

#### 15. Tube-wall temperature

$$\begin{aligned} t_w &= t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \\ &= 266 + \frac{37.8}{191.3} (41) \\ &= 274 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Pada  $t_w = 274 \text{ } ^\circ\text{F}$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned} \mu_w &= 0.012 \text{ cP} \\ &= 0.03 \text{ lb/ft.jam} \end{aligned}$$

**Menghitung viskositas campuran gas pada  $t_w = 274 \text{ } ^\circ\text{F}$**

$$T = 274 \text{ } ^\circ\text{F} = 134 \text{ } ^\circ\text{C} = 407 \text{ K}$$

14. Dari Fig.25 Kern  
*Correction factor* = 0.92

$$\begin{aligned} h_i &= 200 \times 0.9 \\ &= 184 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{io} &= h \times \frac{ID}{OD} \\ &= 184 \times \frac{0.8}{1} \\ &= 153 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Komponen	x <sub>i</sub>	μ (μP)	μ.x <sub>i</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.030534	95.18072	2.906287
HCl	0.2485	199.339	49.53576
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0.711359	98.07402	69.76583
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0.009607	106.5917	1.023978
Total	1		123.2319

$$\mu = 0.012 \text{ cP}$$

$$\begin{aligned}\phi_s &= \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \\ &= \left( \frac{0.04}{0.03} \right)^{0.14} \\ &= 1.044\end{aligned}$$

*Corrected coefficient*

$$\begin{aligned}h_o &= \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_a \\ &= 37.8 \times 1.044 \\ &= 39.52 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}\end{aligned}$$

#### 16. Clean overall coefficient

$$\begin{aligned}U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\ &= \frac{153 \times 40}{153 + 40} \\ &= 31 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}\end{aligned}$$



**17. Design overall coefficient (U<sub>D</sub>)**

Diketahui *external surface* /ft, a" = 0.262 ft<sup>2</sup>/ft

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 232 \times 12 \times 0.3 \\ &= 729 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{719159.221}{729 \times 38.17} \\ &= 26 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

**13. Dirt factor (R<sub>d</sub>)**

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\ &= \frac{31 - 26}{31 \times 26} \\ &= 0.007 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu} \end{aligned}$$

**Ringkasan**

40	h <i>outside</i>	153
U <sub>c</sub>	=	31.42
U <sub>D</sub>	=	25.85
R <sub>d calc</sub>	=	0.007
R <sub>d req</sub>	=	0.001

**Pressure Drop**

$$1. \text{ Re}_s = 30245$$

Dari Fig.29 Kern, didapatkan

$$f = 0.00180 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$1. \text{ Re}_t = 20.314$$

Dari Fig.26 Kern,  
didapatkan

$$f = 0.018$$

$$s = 1$$

Komponen	$x_i$	s.g	sg. $x_i$
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	0.031	2.5	0.076
HCl	0.249	1.3	0.313
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$	0.711	3.7	2.619
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{Cl}_2$	0.01	4.9	0.047
Total	1		3.055

2. No. of crosses

$$N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{12}{6}$$

$$N + 1 = 25$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 2 \text{ ft}$$

$$2. \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi_t}$$

$$\Delta P_t = \frac{15052}{3627900000}$$

$$= 0.000004 \text{ psi}$$

$$3. G_t = 424.3967$$

Dari Fig.27 Kern, didapatkan

$$\frac{V^2}{2g'} = 0.001$$

$$3. \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s \phi_s}$$

$$\Delta P_s = \frac{36145030}{9990430969}$$

$$= 0.004 \text{ psi}$$

$$\Delta P_r = \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g'}$$

$$= \frac{4 \times 2}{1} \times 0.001$$

$$= 0.008 \text{ psi}$$

$$4. \Delta P_T = P_t + P_r$$

$$= 0.000004 + 0.001$$

$$= 0.001 \text{ psi}$$

### **Resume Spesifikasi Waste Heat Boiler (WHB)**

<b>Spesifikasi</b>	<b>Keterangan</b>
Kode Alat	: E-221
Fungsi	: Menurunkan suhu setelah keluar reaktor
Jenis	: <i>Shell and tube</i> (1-2 HE)
Jumlah	: 2
Bahan Konstr	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	: 728.9 ft <sup>2</sup>
Temperatur	
T <sub>1</sub>	: 260 °C
T <sub>2</sub>	: 45 °C
t <sub>1</sub>	: 30 °C
t <sub>2</sub>	: 230 °C

***Tube***

OD, BWG : 1 in 14 BWG

ID : 0.8 in

*Length* : 12 ftJumlah *tube* : 232*Pitch* : 1.25 in *triangular* $\Delta P$  *tube* : 0.00 psi***Shell***ID *shell* : 23.25 in $\Delta P$  *shell* : 0.004 psi*Fouling factor*: 0.007 jam.ft<sup>2</sup>.°F/Btu

---

## 8. *Flash Tank* (D-220)

### Tujuan Perancangan :

1. Menentukan tipe *flash tank*
2. Menentukan bahan konstruksi *flash tank*
3. Menghitung kapasitas *flash tank*
4. Menghitung tinggi dan diameter dari *flash tank*
5. Menghitung tebal dinding *flash tank*
6. Menghitung tebal *head*
7. Menghitung tinggi *head*

**Kondisi :**  $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C} = 113\text{ }^{\circ}\text{F} = 318\text{ K}$

$P = 5.1\text{ bar}$

### Menentukan tipe *flash tank*

berbentuk *torispherical dished head* dengan pertimbangan :

- Kondisi operasi *flash tank* pada tekanan 5,1 bar dan suhu  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Proses pemisahan fase gas dan cair lebih baik dengan luas penampang yang lebih besar

### Menentukan bahan konstruksi

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Austenitic Stainless Steel, AISI type 304* dengan komposisi :

- Cr = 18 - 20 %    - Si = 0.01
- Ni = 8 - 10.5 %    - Mn = 0.02
- C = 0.0008

(Perry, edisi 7, hal : 2457)

Dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Mempunyai *allowable working stress* yang besar, sehingga untuk kapasitas yang sama memerlukan ketebalan bahan yang tipis
- Harga relatif murah
- Tahan terhadap panas dan korosi

### Langkah Perancangan :

#### 1. Menentukan volume spesifik uap (Vs) (Carl L. Yaws)

komponen	kmol	y <sub>i</sub>	P <sub>c</sub> (bar)	T <sub>c</sub> (K)	ω	BM
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3.38	0.02	33.7	469.7	0.25	72.1
HCl	264	0.92	83.1	324.65	0.13	36.5
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	5.11	0.05	34.65	560.45	0.31	107
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0.02	0	34.99	624.46	0.34	141

Komponen	y <sub>i</sub> ·T <sub>c<sub>i</sub></sub>	y <sub>i</sub> ·P <sub>c<sub>i</sub></sub>	y <sub>i</sub> ·ω	y <sub>i</sub> ·BM
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	10.9789	0.79	0.0059	1.68642
HCl	300.01	76.8	0.1215	33.737
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	29.3192	1.81	0.0163	5.57878
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0.13157	0.01	7E-05	0.02974
<b>Total</b>	<b>340.439</b>	<b>79.4</b>	<b>0.1438</b>	<b>41.032</b>

Dari Smith Van Ness Ed.6 hal 90

$$Tr = \frac{T}{\sum y_i \cdot T_{c_i}} = \frac{318}{340.4} = 0.934$$

$$Pr = \frac{P}{\sum y_i \cdot P_{c_i}} = \frac{5.1}{79.40} = 0.064$$

Dari harga  $T_r$  dan  $P_r$  menurut gambar 3.11 Smith Van Ness maka digunakan generalized virial koefisien (hal 98)

$$B^0 = 0.083 - \frac{0.422}{T_r^{1.6}} = 0.083 - \frac{0.422}{0.897} = -0.3876$$

$$B^1 = 0.139 - \frac{0.172}{T_r^{4.2}} = 0.139 - \frac{0.172}{0.751} = -0.09$$

$$\frac{BP_c}{RT_c} = B^0 + \omega \cdot B^1 = -0.388 + (-0.01) = -0.401$$

$$Z = 1 + \frac{BP_c \times Pr}{RT_c T_r}$$

$$Z = 1 + -0.401 \times 0.068764 = 0.9725$$

$$V_s = \frac{ZRT}{P} = \frac{0.972 \times 0.082 \times 318}{5.1} = 4.98 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$$

## 2. Menentukan densitas uap dan cairan

### Densitas Uap ( $\rho_v$ )

$$\text{BM campuran} = 41.03 \text{ kg/kmol}$$

$$\rho_v = \frac{\text{BM}_{\text{camp}}}{V_s} = \frac{41.03}{4.98} = 8.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.5 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

### Densitas Liquid ( $\rho_L$ )

Menentukan densitas campuran liquids dengan persamaan menggunakan parameter sebagai berikut :

$$\rho = AB^{-(1-t/C)^n}$$

Dimana  $\rho$  = densitas,  $\text{kg/m}^3$

$T$  = temperatur, K

A, B, C, n = parameter

Komponen	A	B	C	n
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.2305	0.26674	469.7	0.28571
HCl	0.4465	0.2729	324.65	0.3217
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	0.2862	0.24843	560.45	0.28571
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	0.3582	0.25651	624.46	0.28571

$$T = 45\text{ }^{\circ}\text{C} = 318\text{ K}$$

$$P = 5.1\text{ bar}$$

Komponen	kg	xi	$\rho\text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_i$
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1032.47	0.0329	260.393	8.5705
HCl	753.311	0.024	450.347	10.815
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	29184.2	0.9303	339.955	316.27
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	399.285	0.0127	433.489	5.5177
<b>Total</b>	<b>31369.2</b>	<b>1</b>		<b>341.18</b>

$$\rho_L = 341.18\text{ kg/m}^3 = 21.3\text{ lb/ft}^3$$

### 3. Menentukan volume uap dan liquida

$$\text{Massa uap} = 10423.23\text{ kg/hari}$$

$$0.120639\text{ kg/s} = 0.266\text{ lb/s}$$

$$\text{Massa liquida} = 31369.25\text{ kg/hari}$$

$$= 0.36307\text{ kg/s} = 0.80\text{ lb/s}$$

$$\text{Volume Uap} = \frac{\text{massa uap}}{\rho_v} = \frac{0.1206}{8.25} = 0.015\text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Volume Liquida} = \frac{\text{massa liquida}}{\rho_L} = \frac{0.3631}{341.18} = 0.001\text{ m}^3/\text{s}$$



Menentukan volume *Drum Separator*

Direncanakan vapor memiliki waktu tinggal (*hold-up*) 0,1 meni

Direncanakan cairan memiliki waktu tinggal (*hold-up*) 10 meni

$$\text{Volume Liquid} = 0.001 \times 10 \times 60 = 0.639 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Uap} = 0.015 \times 0.1 \times 60 = 0.088 \text{ m}^3$$

$$\text{Jadi Volume Total} = 0.726 \text{ m}^3$$

Faktor keamanan 10 %, maka volume *drum separator* menjadi:

$$\begin{aligned} V' &= 5.1 \times 0.726 = 3.704 \text{ m}^3 \\ &= 130.8 \text{ ft}^3 = 226018.4 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

#### 4. Menghitung *maximum design vapor velocity* ( $U_v$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{fac}} &= \frac{L}{V} \left( \frac{\rho_v}{\rho_L} \right)^{0.5} \\ &= \frac{0.80}{0.266} \left( \frac{0.5}{21} \right)^{0.5} \\ &= 0.468 \end{aligned}$$

Dari Fig 1 McKetta halaman 438 didapatkan  $K_v = 0,4$

$$\begin{aligned} U_v &= K_v \times \left( \frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{0.5} \\ U_v &= 0.4 \times \left( \frac{21 - 0.5}{0.5} \right)^{0.5} \\ U_v &= 2.541 \text{ ft/s} \\ &= 0.775 \text{ m/s} \end{aligned}$$

#### 5. Menghitung dimensi tangki

##### a. Menentukan diameter dalam tangki (ID)

Volume *torispherical head* ( $V_h$ )

$$V_h = 0.000049 \text{ Di}^3 (\text{ft}^3) \text{ Brownell \& Young, 88}$$

$$V_h = 0.084672 \text{ Di}^3 (\text{in}^3)$$

$\text{Di}$  = *inside diameter* (in)

$$L/D = 4 \quad (\text{Silla page 285})$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} + 2 \cdot V_{\text{head}} \\ &= \frac{3.14 \times D^2 \times 4D}{4} + 2 \times 0.085 \text{ Di}^3 \\ &= 3.309344 \text{ Di}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Di}^3 = \frac{226018.4}{3.3093}$$

$$\text{Di} = 40.88 \text{ in} = 1.04 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} L &= 4 \times 40.88 \text{ in} \\ &= 163.50 \text{ in} \\ &= 4.15 \text{ m} \end{aligned}$$

## **b. Menentukan Volume *Drum Separator***

Volume silinder ( $V_s$ )

$$V_s = \frac{\pi \cdot \text{Di}^2 \cdot L}{4}$$

$$V_s = \frac{3.14 \times 40.88^2 \times 163.50}{4}$$

$$V_s = 214453 \text{ in}^3$$

Volume *drum separator* ( $V_t$ )

$$\begin{aligned}
 V_t = V_s &= 214452.7 + 2 \times 0.0847 \text{ Di}^3 \\
 &= 214452.74 + 2 \times 0.0847 \times 68297.05 \\
 &= 226018.43 \text{ in}^3
 \end{aligned}$$

**c. Menghitung luas penampang tangki (A)**

$$A = \frac{\pi \cdot \text{Di}^2}{4} = \frac{3.14 \times 1.04}{4} = 0.82 \text{ m}^2$$

**6. Menentukan tinggi liquid ( $H_L$ )**

$$\begin{aligned}
 \text{Volume untuk 10 menit hold up} &= 0.001 \times 10 \times 60 \\
 &= 0.64 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Kedalaman liquida} = \frac{0.639}{0.82} = 0.78 \text{ m}$$

**7. Menentukan tebal dinding tangki ( $t_s$ )**

Tebal dinding tangki dihitung dengan persamaan 13.1 Brownell & Young halaman 254 yaitu :

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 1 \cdot P} + c \quad (\text{pers.13.1 Brownell \& Young})$$

Dimana :

$t_s$  = tebal shell (in)       $f$  = tekanan maksimum yang

$P$  = tekanan internal (psi)      diijinkan (psia)

$r_i$  = jari – jari dalam (in)       $E$  = efisiensi pengelasan

$c$  = faktor korosi

Tangki didesain sebagai berikut :

- Suhu = 318 K
- Tekanan = 517 kPa = 74.95 psia

- Bahan Konstruksi = *Austenitic stainless steel*, AISI tipe 304 dengan komposisi : Cr = 18 - 20 %; Si = 1 %; Ni = 8 - 10.5 %; C = 0.08 %; Mn = 2 % (*Perry, ed 8, hal 25-36*)

- Bentuk *head* = *Torispherical dished head*

- Jari - jari dalam ( $r_i$ ) =  $ID/2 = 40.88 / 2 = 20.438$  in

$$t_s = \frac{74.94924 \times 20.43795}{16000 \times 0.85 - 0.6 \times 74.95} + 0.125 = 0.238 \text{ in}$$

Maka digunakan tebal *shell*  $\frac{4}{16}$  in

## 8. Menentukan tebal *head* tangki

Bahan yang digunakan sebagai *head* sama dengan yang digunakan untuk *shell*, karena tekanan kurang dari 200 psi, maka dipilih *head* jenis *torispherical dished head* (Brownell hal. 88).

$$\begin{aligned} (OD)_s &= (ID)_s + 2 \cdot t_s \\ &= 40.88 + 2 \times 0.3 \\ &= 41.38 \text{ in} \end{aligned}$$

Digunakan OD standar 40 in, dengan tebal *shell* 3/16 in dari tabel 5.7. Brownell & Young hal 90, diperoleh harga :

$$rc = 40$$

$$icr = 2.5$$

Berdasarkan persamaan 7.76 & 7.77, Brownell & Young hal 138 :

$$W = \frac{1}{4} \left[ 3 + \left( \frac{rc}{icr} \right)^{0.5} \right]$$

$$4(\sqrt{ICR})$$

dalam hal ini : W = faktor intensifikasi stress

$$W = 1.8$$

$$t_h = \frac{P.rc.W}{2.f.E-0.2.P} + c$$

$$t_h = \frac{74.9 \times 40 \times 1.75}{2 \times 16000 \times 0.85 - 0.2 \times 75} + 0.125 = 0.32 \text{ in}$$

Digunakan tebal *head* standar  $\frac{6}{16}$  in

### 9. Menghitung tinggi *head*

$$ID = 40.88 \text{ in}$$

$$OD = 41.38 \text{ in}$$

Berdasarkan Brownell & Young hal 87 diperoleh harga :

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{40.88}{2} = 20.44 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 40 - 2.5 = 37.5 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 20.44 - 2.5 = 17.94 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0.5} = 32.931 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 40 - 32.93 = 7.0686 \text{ in}$$

Dari tabel 5-6 Brownell & Young hal 88, untuk tebal *head*  $\frac{1}{8}$  in diperoleh harga sf = 1 ½ - 3 Dipilih sf = 2.

Maka :

$$\begin{aligned}
 H_h &= t_h + b + s_f \\
 &= 0.32 + 7.069 + 2 \\
 &= 9.39 \text{ in}
 \end{aligned}$$

#### 10. Menentukan tinggi tangki separator total

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi tangki separator total} &= ( 2 \times H_h ) + L \\
 &= ( 2 \times 9.39 ) + 163.50 \\
 &= 182.28 \text{ in} \\
 &= 15.184 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

#### Resume Spesifikasi *Flash Tank*

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	: D-220
Fungsi	: Memisahkan produk reaktor dari gas HCl
Tipe	: Silinder vertikal berbentuk <i>torispherical</i>
Kapasitas Tangki	: 3.704 m <sup>3</sup>
Diameter Tangki	: 1.051 m
Tinggi Tangki	: 4.628 m
Bahan konstruksi	: <i>Austenitic Stainless Steel</i> , AISI tipe 304
Tekanan	: 5.1 bar
Suhu	: 45 °C

### 9. Reaktor (R-310)

Fungsi : Untuk memproduksi Amil Alkohol dari Amil Klorid dan Natrium Hidroksida dengan katalis Asam Oleat

Bentuk : Silinder tegak dengan dengan pengaduk tutup dan alas torispherical dan jaket pendingin

Kondisi operasi :

T = 120 celcius

P = 1 atm

F = 1672,0938 kg/jam = 3687,087 lb/jam

t = 3 jam

Tabel Komposisi Bahan Masuk

Komponen	massa (kg/hari)	volume	fraksi	densitas (kg/m <sup>3</sup> )	viskositas (cp)
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	10,32474	0,05208	0,000256	198,2425	1,27
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	62,61124	0,22029	0,00155	284,2263	2,41
NaOH	0	0	0	313,4175	106,71
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	22883,78	88,9131	0,566555	257,3724	21,01
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	563,1001	2,79563	0,013941	201,4219	1,13
H <sub>2</sub> O	952,5418	2,77405	0,023583	343,3764	0,23
HCl	1,06E-06	3,7E-09	2,61E-11	284,4427	0,01
NaCl	15653,91	35,9306	0,387558	435,6711	63,12
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>	3,992694	0,01198	9,89E-05	333,3722	3,52
Asam oleat	260,8466	0,7334	0,006458	355,6678	2,90
Total	40391,1	131,431	1		

$$\begin{aligned} \text{densitas campuran} &= 328,3906 \quad \text{kg/m}^3 \\ &= 20,49111 \quad \text{lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\text{viskositas campuran} = \frac{1}{\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2} + \frac{f_3}{\mu_3} + \frac{f_4}{\mu_4} + \frac{f_5}{\mu_5}}$$

$$\frac{1}{\mu} = 0,1509$$

$$\mu = 6,6260919 \quad \text{cp}$$

Menghitung volume tangki

$$v_o = \frac{F}{P}$$

$$= \frac{3687,0867}{20,49111}$$

$$= 179,93592 \quad \text{cuft/jam}$$

$$V = v_o \times t \quad (\text{Levenspiel})$$

$$= 179,94 \times 3$$

$$= 539,8078 \quad \text{cuft}$$

Bahan akan menempati 80% tangki untuk faktor keamanan

$$V_t = \frac{V}{0,5}$$

$$= \frac{431,8462}{0,5}$$

$$= 863,6924 \quad \text{cuft}$$

Menghitung dimensi tangki

Rasio H/D = 2-5 (Ulrich, Tabel 4-27)

Diambil rasio H/D = 2

$$V_t = v_s + (2 \times V_h)$$

$$V_s = \frac{\pi D_i^2 H}{4}$$



$$= \frac{\pi \times Di^2 \times 2 Di}{4}$$

$$= 1,57 Di^3$$

$$V_h = 0.0809 Di^3$$

$$\begin{aligned} V_t &= V_s + V_a + V_h \\ &= (1,57 + 2 \times 0.0809) \end{aligned}$$

$$863,69241 = 1,7318 Di^3$$

$$Di^3 = 498,7253 \text{ cuft}$$

$$Di = 5,541392 \text{ ft}$$

$$H = 2 \times Di = 11,08278 \text{ ft}$$

Digunakan H standar 34 ft

Menghitung tebal tangki

$$t_s = \frac{P \times Di}{2 f E} + C$$

$$t_a = \frac{P_d \times r_c \times W}{2fE - 0.2 P} + C$$

Bahan konstruksi = Stainless steel 316

Tipe las shell = Double welded butt joint

Allowable stress, f = 15900

Faktor korosi, C = 0

Tekanan optimum, Pop = P hidrostatik + P operasi

$$= \frac{\rho H}{144} + \# \text{ psi}$$

$$= \frac{20.4911 \times 34}{144} + 14,7$$

$$= 19,548179 \text{ psi}$$

Tekanan desain, P

$$= 1,1 \text{ Pop}$$

$$= 1,1 \times 19,548$$

$$= 21,502997 \text{ psi}$$

#### Tebal shell

$$ts = \frac{P \times Di}{2fE} + C$$

$$= \frac{21,5 \times 5,5414}{2 \times 15900 \times 0.8} \times 12$$

$$= 0,056206 \text{ (3/16 in)}$$

#### Tebal tutup (torispherical head)

$$OD = ID + 2t$$

$$OD = 65,8 + 2 \times 0,1875 = 66,175 \text{ in}$$

Digunakan OD standar 72 in

$$icr = 4 \frac{3}{8}$$

$$rc = 72$$

#### Menghitung W

$$W = \frac{3 + (rc/icr)^{1/2}}{4}$$

$$= \frac{3 + (72 / 4 \frac{3}{8})^{1/2}}{4}$$

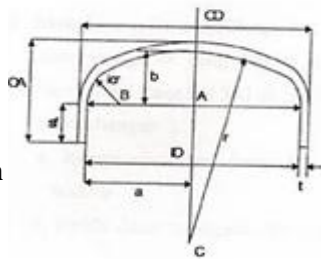
$$= 2,8071$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \frac{P \times r_c \times W}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + C \\
 &= \frac{21,503 \times 72 \times 2,81}{2 \times 15900 \times 1 - 0,2 \times 21,503} \\
 &= 4346,0628 \\
 &\quad 25435,699 \\
 &= 0,1709 \text{ in} \quad (3/16)
 \end{aligned}$$

Menghitung tinggi tutup reaktor

Tinggi tutup

$$OA = th + b + sf$$



Dari tabel bronell-young didapatkan

$$sf = 2$$

$$icr = 0,56$$

$$\begin{aligned}
 AB &= \frac{D}{2} \quad icr = \frac{72}{2} - 0,56 \\
 &= 35,44 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BC &= r - icr = 72 - 0,56 \\
 &= 71,44 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AC &= (BC^2 - AB^2)^{1/2} = (71,4^2 - 35,4^2)^{0,5} \\
 &= 62,03 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= r - AC = 72 - 62 \\
 &= 9,97 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OA &= th + b + sf = 3/16 + 9.97 + 2 \\ &= 12,1575 \end{aligned}$$

Menentukan dimensi pengaduk

$$\frac{Da}{Di} = \frac{5}{10} : \frac{C}{Di} = \frac{1}{3} : \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} : \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$

- a. Diameter pengaduk

$$\begin{aligned} \frac{Da}{5,5} &= \frac{5}{10} \\ Da &= 2,75 \end{aligned}$$

- b. Tebal pengaduk

$$\begin{aligned} \frac{C}{5,5} &= \frac{1}{3} \\ C &= 1,8333 \end{aligned}$$

- c. Jarak dasar pengaduk dengan dasar tangki

$$\begin{aligned} \frac{W}{3} &= \frac{1}{5} \\ W &= 0,54 \end{aligned}$$

- d. Tebal baffle

$$\begin{aligned} \frac{J}{5,5} &= \frac{1}{12} \\ J &= 0,4583 \end{aligned}$$

Menghitung power pengaduk

$$\mu \text{ campuran} = 6,6261 \text{ cp} = 0,006626 \text{ N/ms}^2$$

Dari Fig 10.57 buku Coulson"s didapatkan :

Tipe = Propeller

Kecepatan putar = 25 rpm = 0.42 fps

Menghitung bilangan reynold, Re

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\text{Da N } \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,9 \times 0,42 \times 3,2839\text{E}+02}{0,0066261} \\ &= 18733,76263 \end{aligned}$$

Dari Fig. 10.58 buku Coulson's , diketahui :

$$\text{Npo} = 0,4$$

$$\begin{aligned} \text{Power pengaduk} &= \text{Npo} \times \rho \times \text{N}^3 \times \text{Da}^5 \\ &= 0,4 \times 328,3906 \times 0,42^3 \times 0,85^2 \\ &= 7,031312 = 0,0108 \text{ hp} \end{aligned}$$

Menghitung dimensi jaket pendingin

Dari appendiks B, didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Rate media pendingin, F ap} &= \# 657388,0057 \text{ kg/jam} \\ &= 298125,4606 \text{ lb/jam} \\ \text{C}_{\text{mp}} &= 2,51 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_o &= \frac{F_{ap}}{\rho_{ap}} \\
 &= \frac{298125,4606 \text{ lb/jam}}{2,51 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 118775,08 \text{ ft}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

### Menghitung luas perpindahan panas

Luas perpindahan panas yang tersedia :

A = luas selimut reaktor + luas penampang tutup reaktor

$$\begin{aligned}
 &= \pi \times OD \times H_L + \pi/4 \times OD^2 \\
 &= (3.14 \times 4.20 \times 10) + (3.14/4 \times 4.20^2) \\
 &= 159,57
 \end{aligned}$$

### Luas perpindahan panas yang dibutuhkan

Dari Kern diketahui range  $U_d = 30 \text{ -- } 60 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$

dipilih  $U_d = 45$

Dari Appendix B, Q yang harus diserap adalah = 9853943,62 kkal  
= 390564,6 btu/jam

$$t_{\text{masuk}} = 86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_{\text{keluar}} = 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Diasumsi temperatur dinding shell reaktor sama dengan

temperatur liquid dalam reaktor  $248 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\begin{aligned}
 \Delta \text{ LMTD} &= \frac{(248 - 86) - (248 - 230)}{\ln (248 - 86) / (248 - 230)} \\
 &= 509,4744
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{Q}{U_d \times \text{LMTD}}$$

$$A = \frac{390564,5508}{45 \times 509.4744} = 17,03562052 \text{ ft}^2$$

jaket pendingin dapat digunakan

#### Menghitung tebal jaket pendingin

$$V \text{ pendingin} = V \text{ reaktor} + \text{jaket} - V \text{ reaktor'}$$

$$V \text{ reaktor'} = V_s + V_h$$

$$= \frac{3.14 \times OD \times H_1}{4} + 0.0809 D_i^3$$

$$= \frac{3.14 \times 4.20^2 \times 1}{4} + 0.0809 \times 4.20^3$$

$$= 138 - 5.99$$

$$= 132,48 \text{ ft}^3$$

$$\text{Trial tebal jaket} = 23,6 \text{ in, sehingga diameter } V_a = 4.01 \text{ ft}^3$$

$$V \text{ reaktor'} + \text{jaket} = V_s + V_h$$

$$= 3,14 \times D_{va}^2 \times (H + AO +$$

$$= \frac{3.14 \times 10.05^2 \times 32}{4,00} + 0,0809$$

$$= 170,04 + 5,22$$

$$= 175,26 \text{ ft}^3$$

$$V \text{ pendingin} = V_a - V_r'$$

$$= 42,78 \text{ ft}^3$$

V pendingin sesuai dengan volume media pendingin yang dibutuhkan, sehingga digunakan tebal jaket = 23,58 in

---

**Spesifikasi Alat**


---

Nama Alat	=	Reaktor
Kode alat	=	R-310
Fungsi	=	Memproduksi Amil Alkohol dari Pentana dan Klorin dengan katalis asam oleat
Bentuk	=	Silinder tegak dengan tutup dan alas Torispherical dengan pengaduk dan jaket pendingin
Tipe	=	Mixed Flow Reaktor
Bahan	=	Stainless steel 316
Jumlah	=	1 unit
Tinggi	=	11,08278 ft
Diameter	=	5,541392 ft

---



### 10. Dekanter (H-321)

Fungsi : Untuk memisahkan larutan berdasarkan perbedaan massa jenis

Bentuk : Horizontal silinder

Temperatur : 120 celcius

Tekanan : 1 atm

Tabel Komposisi Bahan Masuk

Komponen	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$m(\text{kg/hari})$	produk	$v(\text{m}^3/\text{hari})$	$v(\text{m}^3/\text{hari})$
C5H12	198,2425	10,32474	atas	0,052081	-
C5H11CL	284,2263	62,61125	atas	0,220287	-
C5H11OH	257,3724	22883,78	atas	88,9131	-
C5H10	201,4219	563,1001	atas	2,795625	-
C5H10CL2	333,3722	3,992694	atas	0,011977	-
ASAM OLEAT	355,6678	260,8466	bawah	-	0,73339968
H2O	343,3764	952,5418	bawah	-	2,77404585
HCL	284,4427	1,06E-06	bawah	-	3,7101E-09
NAOH	313,4175	0	bawah	-	0
NaCl	435,6711	15653,91	bawah	-	35,9305585
Total		40391,1		91,99307	39,438004

laju alir massa 40391,098

densitas atas 149,14786

densitas bawah 179,2427

dari ulrich (1984)

penentuan ukuran dekanter

diameter fase bawah

$$K = \frac{Dp [g\rho(\rho_h - \rho_l)]}{\mu^2}^{1/3}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 D_p &= \text{diamter gelembung} = 0,0001 \\
 g &= \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)} = 9,8 \\
 \rho_h &= \text{densitas fasa atas (kg/m}^3\text{)} = 149,1479 \\
 \rho_l &= \text{densitas fase bawah (kg/m}^3\text{)} = 179,2427 \\
 \mu &= \text{viskositas medium (fasa atas cp)} = 0,000163 \\
 K &= 5,519177909
 \end{aligned}$$

untuk  $3,3 < K < 43,6$  maka persamaan untuk kecepatan terminal

$$u_t = \frac{0,153 g^{0,71} D_p^{1,14} (\rho_p - \rho)^{0,71}}{\rho^{0,29} \mu^{0,43}}$$

$$U_t = \frac{0,153(9,8)^{0,71}(10^{-4})^{1,14}(192,7047-174,238)^{0,71}}{174,238^{0,29} 0,000163^{0,43}}$$

$$U_t = 2,123E-05$$

Harga perbandingan panjang dengan diameter dekanter pada tekanan 1 atm

$$L/D = 3$$

$$\frac{L}{D} \geq \frac{0,5 U_{ave}}{U_t}$$

$$3 \geq \frac{0,5 U_{ave}}{2,12E-05}$$

$$U_{ave} \leq 0,0001218 \quad \text{m/s}$$

$$\leq 0,43848 \quad \text{m/jam}$$

Untuk  $U_{ave}$  maksimum harus  $< 8 U_t$  agar turbulensi pada permukaan dapat dicegah

$$U_{ave} \leq 8 U_t$$

$$U_{ave} \leq 8 * 0,0001218$$

$$0,00013 \leq 0,000974 \text{ (memenuhi)}$$

$$U_{ave} = \frac{Q_{total}}{A}$$

$$0,4385 = \frac{2,464}{0,25 \pi D^2}$$

$$D^2 = 7,15816$$

$$D = 2,6754 \text{ m}$$

$$L = 3D$$

$$L = 8,0262 \text{ m}$$

Volume dekanter

$$V_{DC} = 0,25 \pi D^2$$

$$V_{DC} = 5,618846 \text{ m}^3$$

Waktu tinggal ( $\theta$ )

$$\theta = \frac{D}{2 U_t}$$

$$= \frac{2,6754}{0,000244}$$

$$= 10.982,76 \text{ detik}$$

$$= 3,0508 \text{ jam}$$


---

---

**Spesifikasi Alat**

---

Nama	:	Dekanter
Bahan konstruksi	:	Carbon steel SA-283 Grade C
Volume dekanter	:	5,618846 m <sup>3</sup>
panjang dan lebar	:	8,0262 m dan 2,6754 m
Waktu tinggal	:	3,0508 jam

### 11. Kolom Amil Alkohol (D-320)

Fungsi : Memisahkan produk amil alkohol dari campuran produk atas dekanter

- Tujuan :
- Menentukan jenis kolom
  - Menentukan bahan konstruksi kolom
  - Menghitung jumlah *plate*
  - Menentukan lokasi umpan
  - Menentukan dimensi kolom

Komp	<i>Feed</i>		<i>Distillate</i>		<i>Bottom</i>	
	<b>F</b>	<b>x<sub>F</sub></b>	<b>D</b>	<b>x<sub>D</sub></b>	<b>B</b>	<b>x<sub>B</sub></b>
C5H12	10,324741	0,00044	10,1860487	0,0128	0,139	0,000006
C5H10	563,10014	0,02394	557,469143	0,6999	5,631	0,00025
C5H11Cl	62,611242	0,00266	0	0	62,611	0,00275
C5H10Cl2	3,9926942	0,00017	0,02637722	0,0000	3,966	0,000175
C5H11OH	22883,775	0,97279	228,837751	0,2873	22654,94	0,99682
<b>Total</b>	<b>23523,804</b>	<b>1</b>	<b>796,51932</b>	<b>1</b>	<b>22727,28</b>	<b>1</b>

- a. Menentukan jenis kolom

Dalam perancangan ini dipilih jenis *tray* dengan pertimbangan

- Perkiraan awal diameter kolom > 3 ft
- Fluida tidak bersifat korosif
- Rentang batas laju alir yang cukup besar tanpa menimbulkan flooding

Jenis *tray* yang digunakan adalah *sieve tray* dengan pertimbangan,

- Kapasitas uap dan cairannya besar
- *Pressure drop* yang rendah dengan efisiensi *tray* tinggi
- Lebih ringan, *low cost* dan fabrikasi yang relatif mudah
- Kestabilan yang lebih tinggi saat operasi

b. Menentukan bahan konstruksi kolom

Bahan konstruksi : *Carbon Steel* SA-285 Grade A,  
dengan pertimbangan :

- Mempunyai *allowable stress* yang besar, sehingga untuk kapasitas yang sama hanya memerlukan bahan yang tipis
- Harga material yang relatif murah

c. Menghitung jumlah *plate* aktual

Untuk menghitung jumlah plate digunakan metode *shortcut*.

Menghitung *efisiensi tray* kolom distilasi menggunakan *O'Connell Correlation*.

<i>Light Key Component</i>	=	amilen	
<i>Heavy Key Component</i>	=	Amil Alkohol	K
Temperatur Puncak Kolom	=	102,5 °C	= 376 K
Temperatur Dasar Kolom	=	137,5 °C	= 411 K
Temperatur Rata-rata Kolom	=	120 °C	= 393
Tekanan Operasi Kolom	=	1	bar

Menghitung viskositas campuran umpan masuk,

Menentukan viskositas campuran komponen dengan pers. DIPPR 101 menggunakan parameter sebagai berikut :

$$\log_{10} \mu_{liq} = A + B/T + C T + C T^2$$

Dimana  $\mu$  = viskositas, cP

T = temperatur, C

A, B, C, D, E = parameter DIPPR 101

Komp	A	B	C	D
C5H12	-7,171	747,4	0,0217	-2,7E-05
C5H10	-5,564	619,1	0,01512	-1,9E-05
C5H11Cl	-6,356	863,2	0,01502	-1,6E-05
C5H10Cl2	-6,899	1061	0,01479	-1,4E-05
C5H11OH	-6,929	1561	0,00996	-8,4E-06

Sumber : Yaws (2014)

$$T \quad 120 \text{ } ^\circ\text{C} = 393 \text{ K}$$

Komp	$x_i$	$\mu$ (cP)	$\mu \cdot x_i$
C5H12	0,0005	0,11487	0,00006125
C5H10	0,0299	0,09359	0,00279969
C5H11Cl	0,0022	0,21171	0,00046311
C5H10Cl2	0,0001	0,32811	0,00003458
C5H11OH	0,9673	0,466	0,45092153
Total	1,0000	1,2144501	0,4542802

Menentukan efisiensi *tray*

$$E_0 = 51 - 32,5 \left[ \log(\mu_{avg} \cdot \alpha_{avg}) \right]$$

Dimana :

$\mu_{avg}$  = viskositas molar cairan umpan pada suhu rata-rata kolom distilasi (120 °C)

$\alpha_{avg}$  = relatif volatilitas rata-rata *light key* pada distilat dan *bottom*  
 = 19,24

Maka dapat dihitung dan didapatkan efisiensi, = 20,4 %

Didapatkan  $E_o = 0,2040$

Menghitung jumlah *plate* ideal,

Dari perhitungan neraca massa diperoleh nilai  $N_m$ ,  
 $R_{min}$  dan  $R$ .

$$N_m = 3,11$$

$$R_{min} = 1,14$$

$$\begin{aligned} R &= 1,5 \times R_{min} \\ &= 1,5 \times 1,14 \\ &= 1,71 \end{aligned}$$

Jumlah stage teoritis dihitung dengan persamaan Eduljee

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0.75 \left[ 1 - \left( \frac{R - R_m}{R + 1} \right)^{0.566} \right]$$

$$\frac{N - 3,11}{N + 1} = 0.75 \left[ 1 - \left( \frac{1,711 - 1,1}{1,711 + 1} \right)^{0.566} \right]$$

$$\frac{N - 3,11}{N + 1} = 0,43963$$

$$N - 3,11 = 0,43963 (N + 1)$$

$$N - 3,11 = 0,43963 N + 0,43963$$

$$0,56037 N = 3,54783$$

$$N = 6,3312$$

Menghitung jumlah *plate* aktual,

$$N_{\text{aktual}} = \frac{N}{E_o}$$

$$= \frac{6,3312}{0,20403}$$

$$= 31,03$$

$$\approx 32 \text{ plate aktual}$$

d. Menentukan lokasi umpan masuk kolom,

Penentuan lokasi umpan kolom distilasi menggunakan persamaan Kirkbride,

$$\log \frac{N_s}{N_t} = 0.206 \log \left[ \left( \frac{x_{HF}}{x_{LF}} \right) \frac{W}{D} \left( \frac{x_{LW}}{x_{HB}} \right)^2 \right]$$



$$(x_{LK})_F = 0,97 \quad N_s = \text{Jumlah stage di bawah titik masuk umpan (stripping)}$$

$$(x_{HK})_F = 0,003 \quad N_e = \text{Jumlah stage di atas titik masuk umpan (enriching)}$$

$$(x_{LK})_B = 0,002755$$

$$(x_{HK})_D = 2,9E-01$$

$$W = 22727,28$$

$$D = 796,52$$

$$\log \left[ \frac{N_e}{N_s} \right] = 0,21 \times \log \left[ \frac{W}{D} \frac{(x_{HK})_F}{(x_{LK})_F} \times \frac{(x_{LK})_W}{(x_{HK})_D} \right]^2$$

$$= 0,21 \times \log \left[ \frac{22727}{796,5} \times \frac{0,003}{0,97} \times \frac{0,003}{0,287} \right]$$

$$= -1,0597$$

$$\frac{N_e}{N_s} = 0,09 \quad , \quad N_e = 0,1 \times N_s$$

Dari perhitungan sebelumnya, telah didapatkan  $N$ ,

$$N_{\text{Theoretical}} = 6$$

$$N_e + N_s = N_{\text{Theoretical}}$$

$$N_e + N_s = 6$$

$$0,1 N_s + N_s = 6$$

$$1,087 N_s = 6$$

$$N_s = 5,82$$

$$\approx 28,5 \text{ (Aktual)}$$

$$N_e = 0,5 \\ \approx 2 \quad (\text{Aktual})$$

Jadi umpan masuk pada *plate* ke 3 dari atas kolom

e. Menentukan dimensi kolom,

Menghitung L dan V bagian *bottom*,

Dari neraca massa didapatkan data sebagai berikut :

$$L = 24886,9698 \text{ kg/hari} = 54866 \text{ lb/hari} \\ 2286,0963 \text{ lb/jam}$$

$$V = 22727,2846 \text{ kg/hari} = 50105 \text{ lb/hari} \quad \text{kg/m}^3 \\ = 2087,7094 \text{ lb/jam}$$

Menghitung densitas liquida dan uap pada bagian *stripping*,

Menentukan densitas campuran liquida dengan persamaan

DIPPR 105 menggunakan parameter sebagai berikut :

Dimana  $\rho$  = densitas,  $\text{kg/m}^3$

T = temperatur, K

$$\text{density} = A B^{(1 - T/T_c)^n}$$

Komp	A	B	n	Tc
C5H12	0,23143	0,26923	0,28215	469,65
C5H10	0,23787	0,26648	0,2905	464,78
C5H11Cl	0,30284	0,2695	0,2804	568
C5H10Cl2	0,30284	0,2444	0,29	663,0000
C5H11OH	0,33398	0,2673	0,25	586,1500

Sumber : Yaws (1999)

$$T = 138\text{ }^{\circ}\text{C} = 411\text{ K} \qquad P = 1,013\text{ bar}$$

Komp	BM	$x_B$	$\rho\text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_B$	$BM \cdot x_B$
C5H12	72,1	0,000006	242,477	0,00148	0,0004
C5H10	70,1	0,000248	248,785	0,06164	0,0174
C5H11Cl	107	0,002755	335,342	0,92383	0,2938
C5H10Cl2	141	0,000175	302,84	0,05285	0,0246
C5H11OH	88,1	0,996817	368,766	367,592	87,868
<b>Total</b>		<b>1,00</b>	<b>1498,21</b>	<b>367,64</b>	<b>87,89</b>

Menentukan densitas campuran uap

Komponen	$x_B$	$T_C\text{ (K)}$	$P_C\text{ (bar)}$	$\omega$	$x_B \cdot T_C$	$x_B \cdot P_C$	$x_B \cdot \omega$
C5H12	0,000006	469,7	33,69	0,25	0,0029	0,0002	1,52E-06
C5H10	0,000248	464,8	35,29	0,23	0,1152	0,0087	5,77E-05
C5H11Cl	0,002755	568	33,5	0,33	1,5648	0,0923	0,00092
C5H10Cl2	0,000175	663	31,9	0,39	0,1157	0,0056	6,7189E-05
C5H11OH	0,996817	586	38,8	0,59	584,28	38,676	0,592109
<b>Total</b>	<b>1,000000</b>				<b>586,1</b>	<b>38,68</b>	<b>0,59316</b>

$$T_C = 586,1\text{ K} \qquad P_C = 38,6821 \qquad \omega = 0,59$$

$$\begin{aligned}
 T_R &= \frac{T}{T_C} & B^0 &= 0,083 \frac{0,422}{(T_R)^{1,6}} \\
 &= \frac{410,5}{586,1} & &= 0,083 \frac{0,422}{(0,7)^{1,6}} \\
 &= 0,7 & &= -0,663 \\
 P_R &= \frac{P}{P_C} & B^1 &= 0,139 \frac{0,172}{(T_R)^{4,2}} \\
 &= \frac{1}{38,68} & &= 0,139 \frac{0,172}{(0,7)^{4,2}} \\
 &= 0,03 & &= -0,6284
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} &= B^0 + \omega \times B^1 \\ &= -0,7 + 0,5932 \times -0,628 \\ &= -1,0358\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z &= 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} \times \frac{P_R}{T_R} \\ &= 1 + -1 \times \frac{0,03}{0,7} \\ &= 0,961\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V' &= \frac{Z \times R \times T}{P \times B M_{\text{Camp}}} \quad R = 0,08205 \text{ L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \\ &= \frac{0,961 \times 0,08205 \times 410,5}{1,01325 \times 87,9} \\ &= 0,363556314 \text{ m}^3/\text{kg}\end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{1}{V'} = \frac{1}{0,36} = 2,75 \text{ kg/m}^3$$

Menghitung laju alir volumetrik bagian *bottom*,

$$\begin{aligned}L_B \frac{L}{\rho_{\text{Liq}}} &= \frac{24887}{367,64} & V_1 &= \frac{V}{\rho_{\text{vap}}} = \frac{22727,28}{2,8} \\ &= 67,7 \text{ m}^3/\text{hari} & &= 8262,648 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,66011 \text{ ft}^3/\text{s} & &= 202,634 \text{ ft}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Menghitung L dan V bagian distilat,

Dari perhitungan neraca massa didapatkan,

$$\begin{aligned} L &= 1363,0536 \text{ kg/hari} = 3005,015228 \text{ lb/hari} \\ &= 125,20897 \text{ lb/jam} \\ V &= 2159,6852 \text{ kg/hari} = 4761,285264 \text{ lb/hari} \\ &= 198,38689 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Menghitung densitas liquida dan uap pada bagian enriching,

Menentukan densitas campuran liquida dengan persamaan

DIPPR 105 menggunakan parameter sebagai berikut :

$$\text{density} = A B^{(1 - T/T_c)^n}$$

Dimana  $\rho$  = densitas,  $\text{kg/m}^3$   
 $T$  = temperatur, K

Komp	A	B	n	Tc
C5H12	0,23143	0,26923	0,28215	469,65
C5H10	0,23787	0,26648	0,2905	464,78
C5H11Cl	0,30284	0,2695	0,2804	568
C5H10Cl2	0,30284	0,2444	0,29	663
C5H11OH	0,33398	0,2673	0,25	586,1500

Sumber : Yaws (1999)

$$T = 103 \text{ } ^\circ\text{C} = 376 \text{ K}$$

$$P = 1,013 \text{ bar}$$

Komp	BM	x <sub>D</sub>	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_D$	BM.x <sub>D</sub>
C5H12	72,1	0,012788	249,26	3,18759	0,9227
C5H10	70,1	0,699882	256,088	179,231	49,085
C5H11Cl	107	0,000000	343,026	0	0
C5H10Cl2	141	0,000033	302,84	0,01003	0,0047
C5H11OH	88,1	0,287297	376,119	108,058	25,325
<b>Total</b>		<b>0,29</b>	<b>1527,3</b>	<b>108,07</b>	<b>25,3</b>

Menentukan densitas campuran uap

Komponen	XD	T <sub>C</sub> (K)	P <sub>C</sub> (bar)	ω	x <sub>D</sub> .T <sub>C</sub>	x <sub>D</sub> .P <sub>C</sub>	x <sub>D</sub> .ω
C5H12	0,012788	469,7	33,69	0,25	6,006	0,4308	0,003184
C5H10	0,699882	464,8	35,29	0,23	325,29	24,699	0,163072
C5H11Cl	0,000000	568	33,5	0,33	0	0	0
C5H10Cl2	0,000033	663	31,9	0,39	0,022	0,0011	1,275E-05
C5H11OH	0,287297	586	38,8	0,59	168,4	11,147	0,170655
<b>Total</b>	<b>1,000000</b>				<b>499,7</b>	<b>11,15</b>	<b>0,33692</b>

$$T_C = 499,7 \text{ K} \quad P_C = 11,1482 \quad \omega = 0,34$$

$$\begin{aligned}
 T_R &= \frac{T}{T_C} & B^0 &= 0,083 \frac{0,422}{(T_R)^{1,6}} \\
 &= \frac{375,5}{499,7} & &= 0,083 \frac{0,422}{(0,75)^{1,6}} \\
 &= 0,751 & &= -0,5836 \\
 P_R &= \frac{P}{P_C} & B^1 &= 0,139 \frac{0,172}{(T_R)^{4,2}} \\
 &= \frac{1}{11,15} & &= 0,139 \frac{0,172}{(0,75)^{4,2}} \\
 &= 0,09 & &= -0,4322
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} &= B^0 + \omega \times B^1 \\
 &= -0,6 + 0,3369 \times -0 \\
 &= -0,73
 \end{aligned}$$

$$Z = 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} \times \frac{P_R}{T_R}$$

$$= 1 + -0,73 \times \frac{0,09}{0,75}$$

$$= 0,912$$

$$V' = \frac{Z \times R \times T}{P \times B_{Camp}} \quad R = 0,08205 \text{ L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

$$\frac{0,912 \times 0 \times 375,5}{1,01325 \times 25,33}$$

$$= 1,095 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho_v = \frac{1}{V'} = \frac{1}{1,09} = 0,9136 \text{ kg/m}^3$$

Laju alir volumetrik bagian *enriching*

$$L_E = \frac{L}{\rho_{Liq}} = \frac{1363,0536}{108,07} \quad V_1 = \frac{V}{\rho_{vap}} = \frac{2159,69}{0,9}$$

$$= 12,61 \text{ m}^3/\text{hari} = 2363,97 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,31 \text{ ft}^3/\text{s} = 57,97 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Menghitung properti fluida bagian *enriching* ,

Menghitung *surface tension* ,

Data - data yang digunakan didapatkan dari *Thermophysical*

*Properties of Chemicals and Hydrocarbons*, by Carl L. Yaws

$$\sigma = A (1 - T/T_c)^n$$

T 102,5 °C = 376 K						
Komp	x <sub>D</sub>	A	T <sub>c</sub>	n	σ(dynes/cm)	σ.x <sub>D</sub>
C5H12	0,0128	52,1	469,65	1,21	7,507	0,096
C5H10	0,6999	50,8	464,78	1,16	7,503	5,251
C5H11Cl	0,0000	60,3	568	1,19	16,695	0,000
C5H10Cl2	3E-05	73,7	663	1,28	25,243	0,001
C5H11OH	0,2873	63,1	586,15	1,22	18,057	5,188
<b>Total</b>						<b>10,536</b>

*Surface tension* fluida = 10,54 dyne/cm

(Yaws,1999)

Menghitung viskositas liquida pada bagian distilat,

$$\mu = A (1 - T/T_c)^n$$

T 102,5 °C = 376 K			
Komp	x <sub>D</sub>	μ (cP)	μ.x <sub>D</sub>
C5H12	0,0128	0,1363	0,0017
C5H10	0,6999	0,1096	0,0767
C5H11Cl	0	0,2375	0
C5H10Cl2	3E-05	0,3678	1,218E-05
C5H11OH	0,2873	0,6189	0,1778
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>0,2563</b>

Viskositas liquida distilat = 0,00017 lb/ft .s



Menghitung viskositas uap pada bagian distilat,

Komp	A	B	C	D
C5H12	-8,063	0,2990	-0,000100	3,34E-08
C5H10	-10,68	0,2968	-0,000084	1,39E-08
C5H11Cl	3,5048	0,2250	0,000028	-2,58E-08
C5H10Cl2	5,1770	0,2229	0,000050	-3,37E-08
C5H11OH	3,7488	0,1983	0,000034	-2,61E-08

Sumber : Yaws (2014)

$$\eta = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\eta$  = viskositas,  $\mu\text{P}$   
 $T$  = temperatur, K

$$T \quad 102,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 376 \text{ K}$$

Komp	$x_D$	$\eta$ ( $\mu\text{P}$ )	$\eta \cdot x_D$
C5H12	0,0128	91,87986	1,174978
C5H10	0,6999	89,72457	62,796567
C5H11Cl	0	90,56543	0
C5H10Cl2	3E-05	94,15735	0,0031181
C5H11OH	0,2873	81,56731	23,434057
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>87,408721</b>

$$\begin{aligned} \text{Viskositas uap distilat} &= 0,009 \text{ cP} \\ &= 0,0000059 \text{ lb/ft} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Menghitung *liquid thermal conductivity* pada bagian distilat

Komp	A	B	C
C5H12	-1,229	0,53220	4,7E+02
C5H10	-1,666	0,97870	4,6E+02
C5H11Cl	-1,733	0,99540	5,7E+02
C5H10Cl2	-1,705	0,88460	6,6E+02
C5H11OH	-1,263	0,54810	5,9E+02

Sumber : Yaws (1999)

Dimana  $k$  = liquid thermal conductivity (W/m.K)  
 $T$  = temperatur, K

$$\log_{10} k_{llq} = A + B [1 - T/C]^{2.7}$$

$T = 103\text{ }^{\circ}\text{C} = 376\text{ K}$

Komp	$x_D$	$k$ (W/m.k)	$k.x_D$
C5H12	0,0128	0,05947787	7,6E-04
C5H10	0,6999	0,021820213	1,5E-02
C5H11Cl	0,0000	0,019183725	0,0E+00
C5H10Cl2	0,0000	0,020814347	6,9E-07
C5H11OH	0,2873	0,055887245	1,6E-02
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>3,2E-02</b>

Menghitung properti fluida bagian *stripping* ,

Menghitung *surface tension* ,

Data - data yang digunakan didapatkan dari *Thermophysical*

*Properties of Chemicals and Hydrocarbons*, by Carl L. Yaws

$T = 137,5\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $410,5\text{ K}$

$$\sigma = A (1 - T/T_c)^n$$

Komp	$x_B$	A	$T_c$	n	$\sigma$ (dynes/cm)	$\sigma.x_B$
C5H12	6,1025E-06	52,1	469,65	1,21	4,287	2,616E-05
C5H10	0,00024776	50,8	464,78	1,16	4,215	0,001
C5H11Cl	0,00275489	60,3	568	1,19	13,157	0,036
C5H10Cl2	0,00017452	73,7	663	1,28	21,372	0,004
C5H11OH	0,99681672	63,1	586,15	1,22	14,461	14,415
<b>Total</b>	<b>1,00</b>					<b>14,456</b>

*Surface tension* fluida = 14,456 dyne/cm

Menghitung viskositas liquida pada bagian *bottom* ,

$$T \quad 137,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad = \quad 411 \quad \text{K}$$

Komp	$x_B$	$\mu$ (cP)	$\mu \cdot x_B$
C5H12	6E-06	0,0948	5,784E-07
C5H10	0,0002	0,0789	1,955E-05
C5H11Cl	0,0028	0,1883	0,0005187
C5H10Cl2	0,0002	0,2944	5,137E-05
C5H11OH	0,9968	0,3599	0,3587
<b>Total</b>	<b>1,000</b>		<b>0,3593</b>

$$\text{Viskositas liquida } \textit{bottom} \quad = \quad 0,000241 \quad \text{lb/ft} \cdot \text{s}$$

Menghitung viskositas uap pada bagian *bottom* ,

Komp	A	B	C	D
C5H12	-8,063	0,2990	-1,0E-04	3,3E-08
C5H10	-10,68	0,2968	-8,4E-05	1,4E-08
C5H11Cl	3,5048	0,2250	2,8E-05	-2,6E-08
C5H10Cl2	5,1770	0,2229	5,0E-05	-3,4E-08
C5H11OH	3,7488	0,1983	3,4E-05	-2,6E-08

*Sumber : Yaws (2014)*

$$\eta = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\eta$  = viskositas,  $\mu\text{P}$   
 $T$  = temperatur, K

$$T \quad 137,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad = \quad 411 \quad \text{K}$$

Komp	$x_B$	$\eta$ ( $\mu\text{P}$ )	$\eta \cdot x_B$
C5H12	6E-06	100,1359	0,0006111
C5H10	0,0002	98,0398	0,0242907
C5H11Cl	0,003	98,7901	0,2721562
C5H10Cl2	0,000	102,79	0,0179387
C5H11OH	0,997	89,00943	88,726088
<b>Total</b>	<b>1,000</b>		<b>89,041085</b>

$$\text{Viskositas uap } \textit{bottom} \quad = \quad 0,00890411 \text{ cP} = 6,0\text{E-06} \text{ lb/ft} \cdot \text{s}$$

<b>Data</b>	<b>Top Tray</b>	<b>Bottom Tray</b>
Tekanan ( bar)	1,013	1,013
Temperatur (°C)	102,5	137,5
$\sigma$ (dyne/cm)	10,54	14,46
$\rho_V$ (lb/ft <sup>3</sup> )	0,06	0,17
$\rho_L$ (lb/ft <sup>3</sup> )	6,75	22,95
<i>Internal Reflux</i> L/V	0,63	1,09503
<i>Max Vapor</i> (lb/jam)	198,39	2087,71
<i>Max Liquid</i> (lb/jam)	125,21	2286,10
<i>Max</i> $Q_V$ (ft <sup>3</sup> /s)	57,97	202,63
<i>Max</i> $Q_L$ (ft <sup>3</sup> /s)	0,31	1,66011
<i>Max</i> $Q_L$ (gpm)	138,83	745,11
<i>Plate Spacing</i> (in)	24	24

Langkah - langkah perhitungan di bawah ini menggunakan referensi dari Van Winkle

Diameter kolom

Perhitungan diameter kolom menggunakan asumsi berikut,

- *Flooding* = 0,8

<b><i>TOP</i></b>		<b><i>BOTTOM</i></b>
<p><u><i>Flow Parameter</i></u></p> $P_F = \frac{L}{V} \left[ \frac{\rho_V}{\rho_L} \right]^{0,5}$ $= 0,06$		$P_F = \frac{L}{V} \left[ \frac{\rho_V}{\rho_L} \right]^{0,5}$ $= 0,095$

1.

Capacity Parameter

$$P_C = 0,34$$

$$P_C = 0,37$$

Koreksi nilai  $P_C$  sebagai fungsi dari  $\sigma$

$$P_{C \text{ Corr}} = P_C \times \left[ \frac{\sigma}{20} \right]^{0,2}$$

$$0,34 \times \left[ \frac{11}{20} \right]^{0,2}$$

$$0,29909$$

$$P_{C \text{ Corr}} = P_C \times \left[ \frac{\sigma}{20} \right]^{0,2}$$

$$= 0,4 \times \left[ \frac{14,5}{20} \right]^{0,2}$$

$$= 0,35$$

city untuk *flooding* 100%,

$$U_{VN} = P_C \times \left( \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{0,5}$$

$$U_{VN} = 0,30 \times \frac{6,7 - 0,1}{0,1}^{0,5}$$

$$U_{VN} = 3,2392 \text{ fps}$$

$$U_{VN} = 0,35 \times \frac{23 - 0,2}{0,17}^{0,5}$$

$$U_{VN} = 3,9937 \text{ fps}$$

Menghitung *net vapor flow area* antara plate

$$\text{Asumsi flooding} = 0,8$$

$$A_N = \left( \frac{Q_V}{U_{VN} \times (\% \text{ Flooding})} \right)$$

$$A_N = \frac{57,97}{3,2 \times 0,8}$$

$$A_N = 22,37224 \text{ ft}^2$$

$$A_N = \frac{202,63}{3,994 \times 0,8}$$

$$A_N = 63,42 \text{ ft}^2$$

*Asumsi,*

$$\begin{aligned} A_d &= 0,1 \text{ A} \\ A &= A_N + A_d \\ A &= \# + 0,1 \text{ A} \\ 0,9 \text{ A} &= 22,4 \\ A &= 24,9 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

diameter kolom,

$$\begin{aligned} D &= \frac{24,86}{0,786}^{0,5} \\ D &= 5,62 \text{ ft} \\ &= 1,71 \text{ m} \end{aligned}$$

*Asumsi,*

$$\begin{aligned} A_d &= 0,1 \text{ A} \\ A &= A_N + A_d \\ A &= 63,4 + 0,1 \text{ A} \\ 0,9 \text{ A} &= 63,42 \\ A &= 70,47 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diameter kolom, dipilih diameter  $D = 9,5 \text{ ft}$

maka  $A = 70,94 \text{ ft}^2$

$$A = 63,84 \text{ ft}^2$$

*Cek percent flood*

$$\begin{aligned} \text{Percent} &= \frac{57,97}{3,239 \times 63,8} \\ \text{flood} &= 0,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percent} &= \frac{202,63}{3,99 \times 63,8} \\ \text{flood} &= 0,8 \end{aligned}$$

Menghitung A dengan *percent flood* = 0,8

$$A_N = \frac{202,63}{3,9937 \times 0,8}$$

$$A_N = 63,423 \text{ ft}^2$$

*Area of column*

$$A = \frac{A_N}{0,9}$$

$$A = \frac{63,423}{0,9}$$

$$A = 70,47 \text{ ft}^2$$

*Area of downcomer,*

$$\begin{aligned} A_d &= 0,1 \quad A \\ &= 0,1 \quad \times 70 \\ &= 7,047 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*Active area for bubbling,*

$$\begin{aligned} A_A &= A - A_d \\ &= 70,47 - 7 \\ &= 63,423 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*Plate thickness,*

$$\begin{aligned} t_p &= 12 \text{ gauge} \\ &= 0,0825 \text{ in} \end{aligned}$$

*Hole diameter,*

$$d_h = 0,25 \text{ in}$$

*Digunakan triangular pitch, equilateral 60°*       $P = 0,25 \text{ in}$

$$\begin{aligned} P &= 0,25 \quad \times 3 \\ &= 0,75 \text{ in . pitch} \end{aligned}$$

Berdasarkan literatur *Distillation* by Van Winkle, ketinggian *weir* maksimal 15% dari *tray spacing* . Sehingga diambil ketinggian *weir* sebagai berikut.

$$h_w = 1,5 \text{ in} \quad \frac{A_d}{A} = \frac{7}{70} = 0,1$$

Dari Tabel 14.10 Van Winkle didapatkan data - data sebagai berikut,

$$\text{Untuk } \frac{A_d}{A} = 0,1 \quad , \quad \frac{L}{D} = 0,7267 \quad \frac{H}{D} = 0,157$$

Sehingga panjang *weir* ( $l_w$ ) dapat dihitung,

$$\frac{L}{D} = 0,73$$

$$\begin{aligned} l_w &= 0,73 \times 9,5 \\ &= 6,9 \text{ ft} \\ &= 82,8 \text{ in} \end{aligned}$$

#### *Entrainment*

*Entrainment* didapatkan dari Fig 13.26, sebagai fungsi dari

$$\begin{array}{l|l} P_F = 0,06 & P_F = 0,095 \\ \Psi = 0,09 & \Psi = 0,033 \end{array}$$

Nilai *entrainment* yang didapatkan kurang dari 0.1, sehingga memenuhi syarat perancangan

#### *Pressure Drop*

$$\begin{array}{l|l} \frac{Q_L}{l_w^{2.5}} = \frac{138,83}{125,227} \text{ gpm} & \frac{Q_L}{l_w^{2.5}} = \frac{745,11}{125,2} \text{ gpm} \\ = 1,109 & = 5,95007 \end{array}$$

Dari Fig 13.7 untuk  $\frac{l_w}{D} = 0,7267$  didapatkan nilai  $F_w$

$$F_w = 1,015 \quad | \quad F_w = 1,05$$

Sehingga  $h_{ow}$  dapat dihitung,

$$h_{ow} = 0.48 \times F_w \left( \frac{Q_L}{l_w} \right)^{0.67}$$



$h_{ow}$  = Liquid crest over weir, in

$$h_{ow} = 0,69 \text{ in}$$

$$= 2,19575 \text{ in}$$

sehingga dipilih  $h_w = 1,44216 \text{ in}$

ent surface tension loss

$$h_{\sigma} = \frac{0.04 \times \sigma}{\rho_l \times d_h}$$

$$h_{\sigma} = 0,25 \text{ in}$$

$$= 0,10 \text{ in}$$

ent loss through holes ,

$$h_0 = 0.186 \frac{\rho_v}{\rho_l} \left( \frac{U_h}{C_0} \right)^2$$

tebal plate,  $t_p = 0,08 \text{ in}$

hole diameter,  $d_h = 0,25 \text{ in}$

sehingga,

$$\frac{t_p}{d_h} = 0,33$$

diambil nilai,  $A_h/A_A = 0,1 \text{ in}$

dari Fig 13.18 didapatkan,  $C_0 = 0,72$

$$A_h = 0,1 \times A_A$$

$$= 0,1 \times 63$$

$$= 6,3423 \text{ ft}^2$$

uap yang melewati lubang

$$U_h = \frac{Q_v}{A_h} = \frac{57,97}{6,342}$$

$$= 9,1 \text{ f/s}$$

$$U_h = \frac{Q_v}{A_h} = \frac{202,63}{6,34231}$$

$$= 31,9 \text{ f/s}$$

tas,  $h_0$  dapat dihitung,

$$h_0 = 0,2 \frac{0,31}{138,8} \left( \frac{9,14}{0,72} \right)^2$$

$$h_0 = 0,1 \text{ in}$$

$$h_0 = 0,186 \frac{1,66}{\text{####}} \left( \frac{31,9}{0,72} \right)^2$$

$$h_0 = 0,816 \text{ in}$$

$$U_{VA} = U_h \times \frac{A_h}{A}$$

$$U_{VA} = 9,141 \times 0,1$$

$$= 0,91 \text{ in}$$

$$U_{VA} = 31,9 \times 0,1$$

$$= 3,19 \text{ in}$$

$$F_{VA} = U_{VA} \times (\rho_v)^{0,5}$$

$$F_{VA} = 0,91 \times 0,31^{0,5}$$

$$= 0,508$$

$$F_{VA} = 3,19 \times 1,66^{0,5}$$

$$= 4,117$$

16, didapatkan

$$\beta = 0,61$$

$$\beta = 0,6$$

al pressure drop ,

$$\Delta H_T = \beta(h_w + h_{ow}) + h_0 + h_\sigma$$

$$\Delta H_T = 1 \times 2,1 + 0,1 + 0,249857$$

$$= 1,62 \text{ in}$$

$$\Delta H_T = 0,6 \times 3,6 + 0,8 + 0,10$$

$$= 3,09953 \text{ in}$$

*Weep point*

$$h_w + h_{ow} = 2,13$$

$$h_w + h_{ow} = 3,64$$

22, didapatkan

$$h_0 + h_\sigma = 0,65$$

$$h_0 + h_\sigma = 0,8$$

il perhitungan sebelumnya,

$$h_0 + h_\sigma = 0,32$$

$$h_0 + h_\sigma = 0,917$$

iii  
1.

Menghitung *liquid back-up* di *downcomer*,

$$H_D = [\Delta H_T + (h_w + h_{ow} + \Delta) + h_d] \frac{1}{\phi_d}$$

asumsi jarak di bawah apron = 1,5 in

$$A_{AP} = \frac{2 \times 1_w}{144}$$

$$A_{AP} = \frac{2 \times 82,84}{144}$$

$$= 0,86 \text{ ft}^2$$

oss pada *downcomer*

$$h_d = 0.03 \left( \frac{Q_l}{100 A_d} \right)^2$$

$h_d = 0,03 \left( \frac{138,83}{100 \times 0,86} \right)^2$ $h_d = 0,1 \text{ in}$ <p>dapat dihitung,</p> $H_D = 3,0 \text{ in}$ <p>asumsi froth density (density foam),        check-up di downcomer ,</p> $H_{Dal} = \frac{3,0}{0,5}$ $= 6,0 \text{ in}$		$h_d = 0,03 \left( \frac{745,11}{100 \times 0,86} \right)$ $h_d = 2,24 \text{ in}$ $H_l = 7,519 \text{ in}$ $\phi_d = 0,5$ $H_{Dal} = \frac{7,519}{0,5}$ $= 15,04 \text{ in}$
---	--	---

Menghitung liquid gradient,  
 the of flow path

$$W_a = \frac{D + l_w}{2}$$

$$W_a = 3,45 \text{ ft}$$

foam height

$$h_f = \frac{\beta(h_w + h_{ow})}{2\beta - 1}$$

$$h_f = \frac{0,61 \times 2,13}{2 \times 0,61 - 1}$$

$$h_f = 5,908 \text{ in}$$

$$= 0,492 \text{ ft}$$

$$h_f = \frac{0,6 \times 3,64}{2 \times 0,6 - 1}$$

$$h_f = 10,91 \text{ in}$$

$$= 0,909 \text{ ft}$$

hydraulic radius,

$$R_h = \frac{h_f \times W_a}{2h_f + W_a}$$

$$R_h = \frac{0,492 \times 3,45}{2 \times 0 + 3}$$

$$R_h = 0,383 \text{ ft}$$

$$R_h = \frac{0,909 \times 3,45}{2 \times 1 + 3}$$

$$R_h = 0,596 \text{ ft}$$

foam velocity,

$$u_f = \frac{12 \times Q'_L}{h_c \times W_a}$$

$$U_f = \frac{12 \times 0,31}{0,6 \times 2,13 \times 3,45}$$

$$U_f = 0,83 \text{ fps}$$

$$U_1 = \frac{12 \times 1,6601}{0,6 \times 3,64 \times 3,45}$$

$$U_1 = 2,64 \text{ fps}$$

Reynold number ,

$$Re_f = \frac{u_f \times R_h \times \rho_L}{\mu_L}$$

$$Re_f = \frac{0,83 \times 0,38 \times #####}{0,00017}$$

$$Re_f = 255500$$

$$Re = \frac{2,6440 \times 0,6 \times 745,1}{0,00017}$$

$$Re_1 = 4859987$$

skin friction factor (f),

$$f = 0,01$$

$$f = 0,01$$

*liquid gradient* dapat dihitung,

$$\Delta = \frac{f \times U_f^2 \times Z_l}{12 \times g \times R_h}$$

$$\Delta = 0,00032 \text{ in}$$

$$\Delta = 0,00210 \text{ in}$$

*Liquid residence time* pada *downcomer*,

$$A_d = 7,047 \text{ ft}^2$$

$$H_D = 2,99 \text{ in}$$

$$H_D = 7,519 \text{ in}$$

$$Q_{LD} = 0,31 \text{ cuft/s}$$

$$Q_{LI} = 1,66 \text{ cuft/s}$$

$$\text{Residence Time} = \frac{A_d \times \left(\frac{H_d}{12}\right)}{Q'_L}$$

$$\text{Residence Time} = 6 \text{ sec}$$

$$\text{Residence Time} = 2,66 \text{ sec}$$

Menentukan diameter dan tinggi tangki,

- |   |                  |
|---|------------------|
| a. Bahan konstruksi                     | = SA 285 Grade A |
| b. <i>Allowable Vertical Weld Joint</i> | = 0,156 in       |
| c. <i>Butt-welded Courses</i>           | = 96 in          |
|   | = 8 ft           |
| d. <i>Allowable stress</i>              | = 11250          |
| e. Efisiensi pengelasan                 | = 0,80           |

Menghitung ketebalan *shell*

$$t = \frac{p \times r_i}{f \times E - 0,6 p} + c$$

$t$  = Thickness of shell  
 $p$  = Internal pressure  
 $f$  = Allowable stress  
 $E$  = Joint efficiency  
 (pers 13-1 hal 172,  $r_o$  = Inside radius of the shell (in)  
 Brownell&Young)  $c$  = Corrosion allowance

Tekanan operasi = 1 bar = 14,51 psi  
 Tekanan design diambil 10% lebih besar dari tekanan operasi untuk faktor keamanan

$$P_{des} = 110\% \times 14,508 = 15,96 \text{ psi}$$

Untuk pengelasan, digunakan *double-welded butt joint*,  
 dengan spesifikasi sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 &= 80\% \quad (\text{Brownell \& Young, page 254}) \\
 &= 0,1250
 \end{aligned}$$

Sehingga  $t$  dapat dihitung,

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{P_{des} \times r_i}{f \times E - 0,6 P_{des}} + c \\
 &= \frac{15,959 \times 30}{11250 \times 0,8 - 0,6 \times 15,959} + 0,125 \\
 &= \frac{478,76}{9000 - 9,575} + 0,125 \\
 &0,18 \text{ in} \quad (\text{digunakan } t \text{ standar} = \frac{3}{16} \text{ in})
 \end{aligned}$$

### Menghitung spesifikasi *head*

Tekanan yang dimasukkan di perhitungan adalah tekanan operasi + *safety factor* nya

$$\text{Safety factor} = 10\%$$

$$P = 1 \text{ bar}$$

$$P_{\text{des}} = 15,96 \text{ psi}$$

$$\text{Tipe Head} = \text{Torispherical Dished head}$$

$$\begin{aligned} (\text{OD})_s &= (\text{ID})_s + 2t_s \\ &= 114 + 2 \times 0,2 \\ &= 114,4 \text{ in} \end{aligned}$$

Digunakan OD standar 114 in, dengan tebal shell 3/8 in. Dari Tabel 5.7 Brownell & Young hal 91, diperoleh harga :

$$r_c = 108$$

$$i_{cr} = 7$$

Berdasarkan persamaan 7.76 , Brownell & Young hal 138:

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \left( \frac{r_c}{i_{cr}} \right)^{0,5} \right)$$

Diketahui W adalah faktor intensifikasi *stress*

$$W = 1,732$$

Perhitungan tebal *head* menggunakan pers 7.77 hal 138

$$t_h = \frac{P r_c \times W}{2f \times E - 0,2 P} + c$$

$t$  = Thickness of head  
 $p$  = Internal pressure  
 $f$  = Allowable stress  
 $E$  = Joint efficiency  
 $r_c$  = inside spherical



$$\begin{aligned}
 t_h &= \frac{15,96 \times 108 \times 1,73198}{22500 \times 0,8 - 0,2 \times 15,8} + 0,1 \\
 &= 0,13 \text{ in} \\
 &= \frac{2}{16} \text{ in} \quad \left( \text{digunakan } t \text{ standar} = \frac{2}{16} \text{ in} \right)
 \end{aligned}$$

Menghitung tinggi *head*

$$ID = 114 \text{ in}$$

$$OC = 114,4 \text{ in}$$

Berdasarkan Brownell & Young hal 87 diperoleh harga :

$$a \frac{ID}{2} = \frac{114}{2} = 57 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 108 - 7 = 101 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 57 - 7 = 50 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 87,7553 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 20,245 \text{ in}$$

∴

Maka :

$$\begin{aligned}
 Hh &= t_h + b + sf \\
 &= 0,1 + 20,245 + 2 \\
 &= 22,4 \text{ in} \\
 &= 1,864 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Tinggi kolom} \\
&= \text{tinggi tray} + 2t_h \\
&= \text{tray spacing} \times N_{\text{actual tray}} + 2t_h \\
&= 24 \times 32 + 44,739 \\
&= 812,7 \text{ in} \\
&= 67,73 \text{ ft}
\end{aligned}$$

### **Resume Spesifikasi Kolom Amil Alkohol**

<b>Spesifikasi</b>	<b>terangan</b>
Kode Alat	: D-320
Fungsi	: Memisahkan amilen dari campuran produk bawah kolom amil alkohol
Jenis Kolom	: <i>Tray Distillation Column</i>
Jenis Tray	: <i>Perforated (Sieve Tray)</i>
Jumlah Tray	: 32 Tray
Diameter kolom	: 9,5 ft
<i>Tray spacing</i>	: 2 ft
<i>Active area</i>	: 63,4 sq.ft
<i>Area of holes</i>	: 6,34 sq.ft
<i>Area downcomer</i>	: 7,05 sq.ft
$A_h/A$	: 0,09
$A_d/A$	: 0,1
$A_h/A_A$	: 0,1
$d_h$	: 0,25 in
$l_w$	: 82,8 in
$h_w$	: 1,5 in

*Design Vessel*

<i>Tipe vessel</i>	: <i>Tall vertical vessel</i>
<i>Bahan konstruksi</i>	: <i>Carbon Steel SA 283 Grade A</i>
<i>Tebal shell</i>	: 0,18 in
<i>Tinggi vessel</i>	: 67,7 ft
<i>Tipe head</i>	: <i>Torispherical Dished Head</i>
<i>Tebal head</i>	: 0,13 in
<i>Tinggi head</i>	: 22,4 in

---

## 12. Kondensor (E-325)

### 1. Heat Balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } W &= 2063.027362 \text{ kg/hari} \\ &= 189.5079743 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan dingin, } Q &= 68948.19 \text{ kkal/hari} \\ &= 11405.17962 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= 4599.753591 \text{ kg/hari} \\ &= 422.5295318 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

### 2. LMTD

$$T_1 = 102.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 216.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 102.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 216.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 45 \text{ } ^\circ\text{C} = 113 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(217 - 113) - (217 - 86)}{\ln \frac{(217 - 113)}{(217 - 86)}}$$

$$\text{LMTD} = 116.48 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{0}{27} = 0$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{27}{131} = 0.207$$

Dari Fig. 18 Kern, karena nilai  $R = 0$  maka  $F_T = 1$ , sehingga

$$\Delta T = \text{LMTD}$$

$$\Delta T = 116.48 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Penentuan *number of shell passes* berdasarkan temperatur

$$\begin{aligned} &= \frac{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \\ &= \frac{27}{131} \\ &= 0.21 \end{aligned}$$

Berdasarkan *Rules of Thumb in Engineering Practice* by Donald R. Woods (Halaman 70) untuk *ratio* 0 - 0,8 *number of shell passes* adalah 1

Sehingga digunakan HE tipe 1

### 3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 150 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

Dari data viskositas, maka di dapatkan nilai  $U_D$  pada Kern table 8 halaman 840

### 4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 1 \text{ in} && \text{Ludwig volume 3 page 35} \\ \text{BWG} &= 14 && \text{McKetta volume 50 page 85} \\ L &= 12 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 0.834 \text{ in} \\ a'' &= 0.262 \text{ ft}^2/\text{ft} \\ a_t' &= 0.546 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

### 5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{11405.17962}{150 \times 116.48} = 0.6528 \text{ ft}^2$$

### 6. Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{0.653}{12 \times 0.262} = 0.208$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

Shell	Tube
ID : 12 in	<i>No. of Tube</i> : 52
B : 12 in	OD, BWG : 1 in 14 BWG
<i>Pass</i> : 1	<i>Pitch</i> : 1.25 in triangular
	<i>Pass</i> : 2

Asumsi maksimum *baffle space*

### 7. Mengkoreksi harga $U_D$

Menghitung harga A terkoreksi

$$\begin{aligned} A_{\text{terkoreksi}} &= N_t \times L \times a'' \\ &= 163.4 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Menghitung harga  $U_D$  koreksi

$$\begin{aligned} U_{D \text{ koreksi}} &= \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}} \\ &= 0.5994 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)} \end{aligned}$$

**8. Perhitungan  $T_{av}$  dan  $t_{av}$** 

karena viskositas yang relatif kecil,  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{217 + 217}{2} = 216.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{86 + 113}{2} = 99.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

**9. Perhitungan viskositas aliran panas**

<b>Komponen</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$C_5H_{12}$	-8.063	0.299	-0.0001	3.34E-08
$C_5H_{10}$	-10.679	0.297	-0.0001	1.39E-08
$C_5H_{11}OH$	3.749	0.1983	3E-05	-2.6E-08

$$\mu = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu\text{P}$

$T$  = temperatur, K

$A, B, C, D$  = parameter (Carl L Yaws)

$$T_c = 217 \text{ } ^\circ\text{F} = 472 \text{ K}$$

<b>Komponen</b>	<b><math>x_i</math></b>	<b><math>\mu</math> (<math>\mu\text{P}</math>)</b>	<b><math>\mu \cdot x_i</math></b>
$C_5H_{12}$	0.01296	108.7077	1.408906
$C_5H_{10}$	0.699783	112.3562	78.62494
$C_5H_{11}OH$	0.287257	102.1823	29.35253
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>109.386</b>

$$\mu = 0.011 \text{ cP}$$

*Hot fluid (shell) : vapor**Cold fluid (tube) : water***10. Flow area**

Menghitung C'

$$C' = P_T - OD$$

$$= 1.25 - 1$$

$$= 0.25$$

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T}$$

$$= \frac{12 \times 0.25 \times 12}{144 \times 1.25}$$

$$= 0.2 \text{ ft}^2$$

**11. Mass velocity**

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

$$= \frac{189.508}{0.2}$$

$$= 947.54 \text{ lb/jam.ft}^2$$

*Loading*

$$G'' = \frac{W}{L \times N_t^{2/3}}$$

$$= \frac{189.507974}{12 \times 13.9}$$

$$= 1.13 \text{ lb/jam.lin ft}$$

**10. Flow area**

$$a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 n}$$

$$= \frac{52 \times 0.55}{144 \times 2}$$

$$= 0.0986 \text{ ft}^2$$

**11. Mass velocity**

$$G_t = \frac{w}{a_t}$$

$$= \frac{422.52953}{0.0986}$$

$$= 4286.014 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$V = \frac{G_t}{3600 \times \rho_{\text{air}}}$$

$$= \frac{4286.013847}{3600 \times 62.5}$$

$$= 0.019 \text{ fps}$$



Asumsi

$$h^- = h_o = 150$$

$$\begin{aligned} t_w &= t_a + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_a - t_a) \\ &= 100 + \frac{150}{338} \times 117 \\ &= 151 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_f &= \frac{T_a + t_w}{2} \\ &= \frac{217 + 151}{2} \\ &= 184 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dari Tabel 4

$$k_f = 0.094 \text{ Btu/(jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

$$s_f = 0.81 \text{ Tabel 6}$$

$$\mu_f = 0.27 \text{ cP}$$

Fig. 14

Dari Fig. 12.9 didapatkan

$$h^- = h_c = 180$$

$$\begin{aligned} \mathbf{12.} \text{ Pada } t_a &= 99.5 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 38 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 311 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Dari Fig.14 Kern  
didapatkan

$$\begin{aligned} \mu &= 0.60 \text{ cP} \\ &= 1.45 \text{ lb/ ft.jam} \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 hal 843  
Kern didapatkan

$$\begin{aligned} D &= \frac{0.834}{12} \\ &= 0.07 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$Re_t = \frac{DG_t}{\mu}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0.1 \times 4286}{1.45} \\ &= 295.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{13.} \quad &\text{Dari Fig.25 Kern} \\ &\text{didapatkan} \\ \text{Correction factor} &= 0.94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_i &= 200 \times 0.94 \\ &= 188 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{.}^\circ\text{F} \\ h_{io} &= h_i \times \frac{ID}{OD} \\ &= 188 \times \underline{0.8} \end{aligned}$$

$$= 156.8 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

#### 14. Clean overall coefficient

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o} \\ &= \frac{156.8 \times 180}{156.8 + 180} \\ &= 83.8 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} \end{aligned}$$

#### 15. Design overall coefficient

Diketahui *external surface* /ft,  $a' = 0.2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 52 \times 12 \times 0.2618 \\ &= 163 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{11405.17962}{163 \times 116.48} \\ &= 0.6 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} \end{aligned}$$

#### 16. Dirt factor

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\ &= \frac{84 - 0.6}{84 \times 0.6} \\ &= 1.6565 \text{ jam.ft}^2.\text{°F/Btu} \end{aligned}$$

## Ringkasan

180	<i>h outside</i>	156.8
$U_c$	=	83.80
$U_D$	=	0.60
$R_{d \text{ calc}}$	=	1.65646

***Pressure Drop***

1. Pada  $T_a = 216.5 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$= 103 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 376 \text{ K}$$

Dari perhitungan

didapatkan

$$\mu = 0.0109 \text{ cP}$$

$$= 0.0265 \text{ lb/ft. jam}$$

Dari Fig 28

$$D_e = \frac{0.7}{12}$$

$$= 0.1 \text{ ft}$$

$$Re_s = \frac{D_e G_s}{\mu}$$

$$= \frac{0.1 \times 947.54}{0.02647}$$

1.  $Re_t = 205.15$

Dari Fig.26 Kern,  
didapatkan

$$f = 0.0025$$

$$s = 1$$

2. 
$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L_n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi_t}$$

$$\Delta P_t = \frac{1102195}{3627900000}$$

$$= 0.0003038 \text{ psi}$$

3.  $G_t = 4286$

Dari Fig.27 Kern,  
didapatkan

$$\frac{V^2}{2g'} = 0.01$$

$$= 2147.683$$

Dari Fig.29 Kern,  
didapatkan

$$f = 0.0027 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

Menghitung *specific gravity*

Komponen	$x_i$	s.g	sg. $x_i$
$C_5H_{12}$	0.01296	2.49	0.03
$C_5H_{10}$	0.69978	2.42	1.69
$C_5H_{11}OH$	0.28726	3.04	0.87
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>2.60</b>

2. *No. of crosses*

$$N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{12}{12}$$

$$N + 1 = 12$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 1 \text{ ft}$$

$$3. \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s} \times \frac{1}{2}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \frac{29090}{2.E+10} \\ &= 0.000002 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_r &= \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g'} \\ &= \frac{4 \times 2}{1} \times 0.01 \\ &= 0.1 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \Delta P_T &= P_t + P_r \\ &= 0.0003 + 0.1 \\ &= 0.0803 \text{ psi} \end{aligned}$$

### Resume Spesifikasi Kondensor

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= E-324
Fungsi	= Mengondensasikan uap dari kolom amil alkohol
Jenis	= <i>Shell and tube</i>
Jumlah	= 1
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	= 163.4 ft <sup>2</sup>
Temperatur	
T <sub>1</sub>	= 216.5 °F
T <sub>2</sub>	= 216.5 °F
t <sub>1</sub>	= 86 °F
t <sub>2</sub>	= 113 °F
<b>Tube</b>	
OD , BWG	= 1 ir, 14 BWG
ID	= 0.834 in
<i>Length</i>	= 12 ft
Jumlah <i>tube</i>	= 52
<i>Pitch</i>	= 1.25 in <i>triangular</i>
$\Delta P$ <i>tube</i>	= 0.08 psi
<b>Shell</b>	
ID <i>shell</i>	= 12 in
$\Delta P$ <i>shell</i>	= 0.000002 psi
<i>Fouling factor</i>	= 1.6565 jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu

### 13. Akumulator (A-326)

Fungsi : Menampung hasil keluaran kondensor kolom amil alkohol

- Tujuan:
- Menentukan tipe akumulator
  - Menentukan bahan konstruksi akumulator
  - Menghitung kapasitas akumulator
  - Menghitung panjang dan diameter akumulator
  - Menghitung tebal dinding akumulator
  - Menghitung tebal *head*
  - Menghitung panjang *head*

Kondisi : Temperatur = 102.5 °C  
 operasi Tekanan = 1 atm

- Menentukan tipe akumulator

Akumulator dipilih berbentuk silinder horisontal berbentuk *torispherical dished head*

- Menentukan bahan konstruksi

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Stainless Steel* AISI tipe 304 dengan pertimbangan

- Mempunyai *allowable stress* yang tinggi
- Harga relatif murah
- Tahan terhadap korosi

- Menentukan dimensi utama akumulator

$$\rho_{\text{Liquidida}} = 310.77 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{Liquidida}} = 24887 \text{ kg/hari} = 1037 \text{ kg/jam}$$

$$V_{\text{liquidida}} = 80.081 \text{ m}^3/\text{hari} = 3.34 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Menentukan volume akumulator

*Residence time* fluida = 10 menit Silla, 2003

$$\begin{aligned}\text{Vol. Liquida} &= 0.56 \text{ m}^3 \\ &= 19.639 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

$$\text{Safety factor} = 10\%$$

$$\begin{aligned}\text{Vol. Liq} + \text{Safety} &= 21.603 \text{ ft}^3 \\ &= 37330 \text{ in}^3\end{aligned}$$

d. Menghitung diameter dan panjang akumulator

Untuk perancangan digunakan

Volume *torispherical head* ( $V_h$ ) Brownell & Young, 88

$$V_h = 0.000049 \text{ Di}^3 (\text{ft}^3)$$

$$V_h = 0.084672 \text{ Di}^3 (\text{in}^3)$$

$$L/D = 4 \quad \text{Silla, 2003 page 285}$$

$$V_{\text{Head}} = 0.084672 \times D^3 \quad (\text{in}^3) \text{ (Torispherical Head)}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{tangki}} &= \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} + 2 \cdot V_{\text{Head}} \\ &= \frac{\pi \times D^2 \times 4 D}{4} + 2 \times 0.084672 \times D^3 \\ &= \frac{3.1 \times D^2 \times 4 D}{4} + 2 \times 0.084672 \times D^3 \\ &= 3.309 \text{ } D^3 \\ D^3 &= \frac{\text{Vol. Liq}}{3.309} \\ &= \frac{37330.24}{3.309}\end{aligned}$$

$$D = 22.43 \text{ in}$$

$$L = 33.64 \text{ in}$$

e. Menghitung tebal dinding akumulator,

$$\text{- Allowable stress} = 17000 \text{ psi}$$

$$\text{- Joint Efficiency} = 0.85$$

$$\text{- Corrosion Factor} = 0.125$$

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P \times r_i}{f \times E - 0.6 P} + c \\ &= \frac{14.7 \times 11.21}{17000 \times 0.85 - 0.6 \times 14.7} + 0.125 \\ &= 0.14 \text{ in} \\ &= \frac{3}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

f. Menghitung tebal head akumulator,

Bahan konstruksi yang digunakan sama dengan bagian *shell*,

$$\begin{aligned} OD_s &= ID_s + 2.t_s \\ &= 22.43 + 0.38 \\ &= 22.80 \text{ in} \end{aligned}$$

Berdasarkan literatur Brownell and Young digunakan OD standard dengan spesifikasi sebagai berikut (tabel 5.7. Brownell & Young hal 90)

$$OD_s \approx 22 \text{ in}$$

$$rc = 21$$

$$icr = 1.375$$



Menghitung *intensification stress* ,

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_1}} \right) \quad W = 1.727$$

Menghitung tebal *head*

$$\begin{aligned} t_h &= \frac{P \cdot r_c \cdot W}{2 \cdot f \cdot E - 0.2 \cdot P} + c \\ t_h &= \frac{14.7 \times 21 \times 1.73}{2 \times 17000 \times 0.85 - 0.2 \times 14.7} + 0.125 \\ &= 0.143 \text{ in} \\ t_h &= \frac{3}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi *head* ,

$$ID = 22.43$$

$$OD = 22.80$$

Berdasarkan Brownell and Young, hal 87 didapatkan :

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{22.4}{2} = 11 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} BC &= r_c - i_{cr} = 21 - 1.375 \\ &= 20 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AB &= \frac{ID}{2} - i_{cr} = 11 - 1.375 \\ &= 9.8 \text{ in} \end{aligned}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} \quad AC = 17 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 21 - 17$$

$$= 4 \text{ in}$$

Dari tabel 5-6 literatur Brownell and Young didapatkan,  
 $sf = 1.75$

Dengan data - data diatas, tinggi *head* dapat dihitung

$$H_h = t_h + b + sf$$

$$= 0.2 + 4 + 1.75$$

$$= 6 \text{ in}$$

g. Menentukan panjang akumulator

$$L_{\text{Total}} = (2 \times H_h) + L$$

$$= 11.914 + 33.64$$

$$= 45.55 \text{ in}$$

### Resume Spesifikasi Akumulator

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	: A-325
Fungsi	: Menampung hasil keluaran kondensor kolom amil alkohol
Jenis	: <i>Horizontal - Torispherical Head Vessel</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Stainless Steel</i> AISI - 304
Kapasitas	: 37330 in <sup>3</sup>
Dimensi	
Panjang	: 45.55 in
Shell	
OD	: 22.80 in
ID	: 22.43 in
Tebal	: 0.188 in

*Head*

OD : 22 in

ID : 22.43 in

Tebal : 0.188 in

Tinggi : 5.957 in

---

l

## 14. Reboiler (E-327)

### 1. Heat Balance

$$\begin{aligned}
 \text{Aliran bahan panas, } Q &= 1390868,365 \text{ kkal/hari} \\
 &= 230072,8087 \text{ Btu/jam} \\
 W &= 3212,19 \text{ kg/hari} \\
 &= 295,07 \text{ lb/jam} \\
 \text{Aliran bahan dingin, } W &= 24886,97 \text{ kg/hari} \\
 &= 2286,10 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

### 2. LMTD

$$T_1 = 230 \text{ } ^\circ\text{C} = 446 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 230 \text{ } ^\circ\text{C} = 446 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 138 \text{ } ^\circ\text{C} = 280 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 138 \text{ } ^\circ\text{C} = 280 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(446 - 280) - (446 - 280)}{\ln \frac{(446 - 280)}{(446 - 280)}}$$

$$\text{LMTD} = 166,41 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{0}{0} = 0$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{0,2}{167} = 0$$

Dari Fig. 18 Kern didapatkan  $F_T = 1$  karena nilai R dan S = 0, maka  $\Delta T = \text{LMTD}$

$$\Delta T = 166,41 \text{ } ^\circ\text{F}$$

### 3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 150 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F})$$

Ludwig volume 3 page 94

### 4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\text{OD} = 1 \text{ in} \quad \text{Ludwig volume 3 page 35}$$

$$\text{BWG} = 14 \quad \text{McKetta volume 50 page 85}$$

$$L = 12 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 0,834 \text{ in}$$

$$a'' = 0,262 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$a_t' = 0,546 \text{ in}^2$$

### 5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{230072,8087}{150 \times 166,41} = 9,2 \text{ ft}^2$$

### 6. Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{9,217}{12 \times 0,262} = 2,934$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

**Shell**

**Tube**

$$\text{ID} : 15,25 \text{ in} \quad \text{No. of Tube} : 74$$

$$B : 3,05 \text{ in} \quad \text{OD, BWG} : 1 \text{ in } 14 \text{ BWG}$$

$$\text{Pass} : 1 \quad \text{Pitch} : 1,25 \text{ in triangular}$$

$$\text{Pass} : 6$$

**7. Mengkoreksi harga  $U_D$** 

Menghitung harga A terkoreksi

$$A \text{ terkoreksi} = N_t \times L \times a''$$

$$= 232,5 \text{ ft}^2$$

Menghitung harga  $U_D$  koreksi

$$U_{D \text{ koreksi}} = \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}}$$

$$= 5,9 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)}(^{\circ}\text{F)}$$

**8. Perhitungan  $T_{av}$  dan  $t_{av}$** karena viskositas yang relatif kecil,  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$ 

$$T_c = T_{av} = \frac{446 + 446}{2} = 446 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{280 + 280}{2} = 280 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

*Cold fluid (shell) : bottoms**Hot fluid (tube) : steam***9. Flow area**

$$a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 \text{ n}}$$

$$= \frac{74 \times 0,5}{144 \times 6}$$

$$= 0,047 \text{ ft}^2$$

**10. Mass velocity**

$$\begin{aligned}
 G_t &= \frac{w}{a_t} \\
 &= \frac{295,07}{0,047} \\
 &= 6309,773 \text{ lb/jam.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{11. Pada } T_a &= 446 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 230 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 503 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.15 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,02 \text{ cP} \\
 &= 0,04 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 Kern  
didapatkan

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,834}{12} \\
 &= 0,07 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{DG_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,1 \times 6309,8}{0,04} \\
 &= 10597
 \end{aligned}$$

$$\text{12. Asumsi } h_o = 280$$

**12. Condensation of steam**

$$\begin{aligned}
 h_{io} &= 1500 \\
 &\text{Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$



**13. Tube-wall temperature**

$$\begin{aligned}
 t_w &= t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \\
 &= 280 + \frac{1500}{1780} \times 166 \\
 &= 419,8 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\Delta t)_w &= 419,8 - 279,6 \\
 &= 140,2 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Dari Fig 15.11 Kern,  
didapatkan

$$h_v > 300$$

sehingga dipakai 280

**14. Clean overall coefficient**

$$\begin{aligned}
 U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\
 &= \frac{1500 \times 280}{1500 + 280} \\
 &= 236 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

**15. Design overall coefficient**

Diketahui *external surface* /ft,  $a = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$$\begin{aligned}
 A &= N_t \times L \times a \\
 &= 74 \times 12 \times 0,2618 \\
 &= 232 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\
 &= \frac{230072,8087}{232 \times 166,41} \\
 &= 5,9 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Cek maksimum *flux*

$$\begin{aligned}
 \frac{Q}{A} &= \frac{230072,81}{232,48} \\
 &= 989,65 \text{ Btu/jam.ft}^2 \quad (\text{sesuai})
 \end{aligned}$$

#### 16. *Dirt factor*

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\
 &= \frac{236 - 5,9}{236 \times 5,9} \\
 &= 0,1639 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

#### Ringkasan

280	<i>h outside</i>	1500
$U_c$	=	235,96
$U_D$	=	5,95
$R_{d \text{ calc}}$	=	0,16391

#### *Pressure Drop*

Diabaikan

1.  $Re_t = 10597$   
Dari Fig.26 Kern,  
didapatkan

$$f = 0,0001$$

$$s = 3,026$$

Menghitung *specific gravity*

Komponen	$x_i$	s.g	$sg \cdot x_i$
C5H12	6E-06	2,5	4E-11
C5H10	0,0002	2,4	6E-08
C5H11Cl	0,0028	3,7	8E-06
C5H10Cl2	0,00017	4,9	0,00085
C5H11OH	0,99682	3	3,02482
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>3,0257</b>

$$2. \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi}$$

$$\Delta P_t = \frac{372652}{10976862028}$$

$$= 3E-05 \text{ psi}$$

$$3. G_t = 6309,8$$

Dari Fig.27 Kern,  
didapatkan

$$\frac{V^2}{2g'} = 0,001$$

$$\Delta P_f = \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g'}$$

$$= \frac{4 \times 6}{3,025679} \times 0,001$$

$$= 0,0079 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned}
 4. \Delta P_T &= P_t + P_r \\
 &= 0,0000 + 0,0079 \\
 &= 0,01 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

### Resume Spesifikasi *Reboiler*

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= E-335
Fungsi	= Mendidihkan kembali liquida dari kolom amil alkohol
Jenis	= <i>Shell and tube</i> (1-6 HE)
Jumlah	= 1
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	= 232,5 ft <sup>2</sup>
Temperatur	
T <sub>1</sub>	= 446 °F
T <sub>2</sub>	= 446 °F
t <sub>1</sub>	= 279,5 °F
t <sub>2</sub>	= 279,7 °F
<b><i>Tube</i></b>	
OD , BWG	= 1 in , 14 BWG
ID	= 0,834 in
<i>Length</i>	= 12 ft
Jumlah <i>tube</i>	= 74
<i>Pitch</i>	= 1,25 in <i>triangular</i>
$\Delta P$ <i>tube</i>	= 0,01 psi
<b><i>Shell</i></b>	
ID <i>shell</i>	= 15,25 in
$\Delta P$ <i>shell</i>	= diabaikan
<i>Fouling factor</i>	= 0,16391 jam.ft <sup>2</sup> .°F/Btu

## DAFTAR NOTASI

No	Notasi	Keterangan	Satuan
1	M	massa	kg
2	N	mol	mol
3	BM	Berat molekul	g/kmol
4	T	Suhu	°C/°F
5	cp	Heat Capacity	kcal/kg°C
6	$\Delta H_f$	Enthalpy pembentukan	kcal/kmol
7	$\Delta H_f$	Enthalpy product	kcal
8	H	Enthalpy	kcal
9	Hv	Enthalpy vapor	kcal/kg
10	HI	Enthalpy liquid	kcal/kg
11	Ms	Massa Steam	kg
12	Q	Panas	kcal
13	$\rho$	Densitas	gr/cm <sup>3</sup>
14	$\eta$	Efisiensi	%
15	$\mu$	Viscositas	Cp
16	D	Diameter	In
17	H	Tinggi	In
18	P	Tekanan	atm/psia
19	R	Jari-jari	In
20	Ts	Tebal tangki	In
21	C	Faktor Korosi	-
22	E	Efisiensi samungan	-
23	Th	Tebal tutup atas	In
24	$\Sigma F$	Total friksi	-
25	Hc	Sudden contraction	ft.lbf/lbm
26	Ff	Friction loss	ft.lbf/lbm
27	h <sub>ex</sub>	Sedden exspansion	ft.lbf/lbm
28	gc	Gravitasi	Lbm.ft/lbf.s <sup>2</sup>
29	A	Luas perpindahan panas	ft <sup>2</sup>
30	a	Area aliran	ft <sup>2</sup>
31	B	Baffle spacing	in

No	Notasi	Keterangan	Satuan
32	f	Faktor friksi	$\text{ft}^2/\text{in}^2$
33	G	Massa velocity	$\text{Lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$
34	$h_{\text{ex}}$	Sudden expansion	$\text{ft.lbf/lbm}$
35	gc	Gravitasi	$\text{Lbm.ft/lbf.s}^2$
27	A	Luas perpindahan panas	$\text{ft}^2$
28	a	Area aliran	$\text{ft}^2$
29	B	Baffle spacing	in
30	F	Faktor friksi	$\text{ft}^2/\text{in}^2$
31	G	Massa velocity	$\text{Lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$
32	k	Thermal conductivity	$\text{Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$

## DAFTAR PUSTAKA

- Austin, George. T. 1982. *Sherve's Chemical Process Industries*. New York: Mc. Graw Hill Book
- Chopey, N. P. (1999). *Handbook of Chemical Engineering Calculations*, 3<sup>th</sup> edition. New York : McGraw-Hill.
- Coulson, J.M., and Richardson, J.F., 1987, "Chemical Engineering Design", vol. 6, Pergamon Press, Oxford
- Dean, J. A. (1999). *Lange's Handbook of Chemistry*, 5<sup>th</sup> Edition. New York : McGraw-Hill.
- Faith, Keyes & Clark. 1955. *Industrial Chemical*, 4<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley and Sons.
- Geankoplis, C. (1983). *Transport Process and Unit Operations*, 2<sup>ed</sup> edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia (2014). *Perkembangan Impor Komoditi Hasil Industri Dari Negara Tertentu*. [www.kemenperin.go.id](http://www.kemenperin.go.id)
- Kenyon, R. L. 1950. *Industrial engineering Chemical*. New York
- Kern, D. Q. (1988). *Process Heat Transfer*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kirk, R. E. Othmer, D. F. 1998. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*. New York: The Interscience Publisher Division of John Wiley and Sons Inc.
- Lloyd E Brownell and Edwin H Young. (1959). *Process Equipment Design*. New York: Wiley Eastern Limited.
- Ludwig, E. E. (1999). *Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants*, Vol.3, 3<sup>th</sup> edition. United State America : Gulf Professional Publishing.
- Mc Ketta, J.J., 1977, *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, vol 4. New York : Marcel Dekker Inc.
- Perry, R.H. and Green, D.W., 1984, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Book Company, New York.

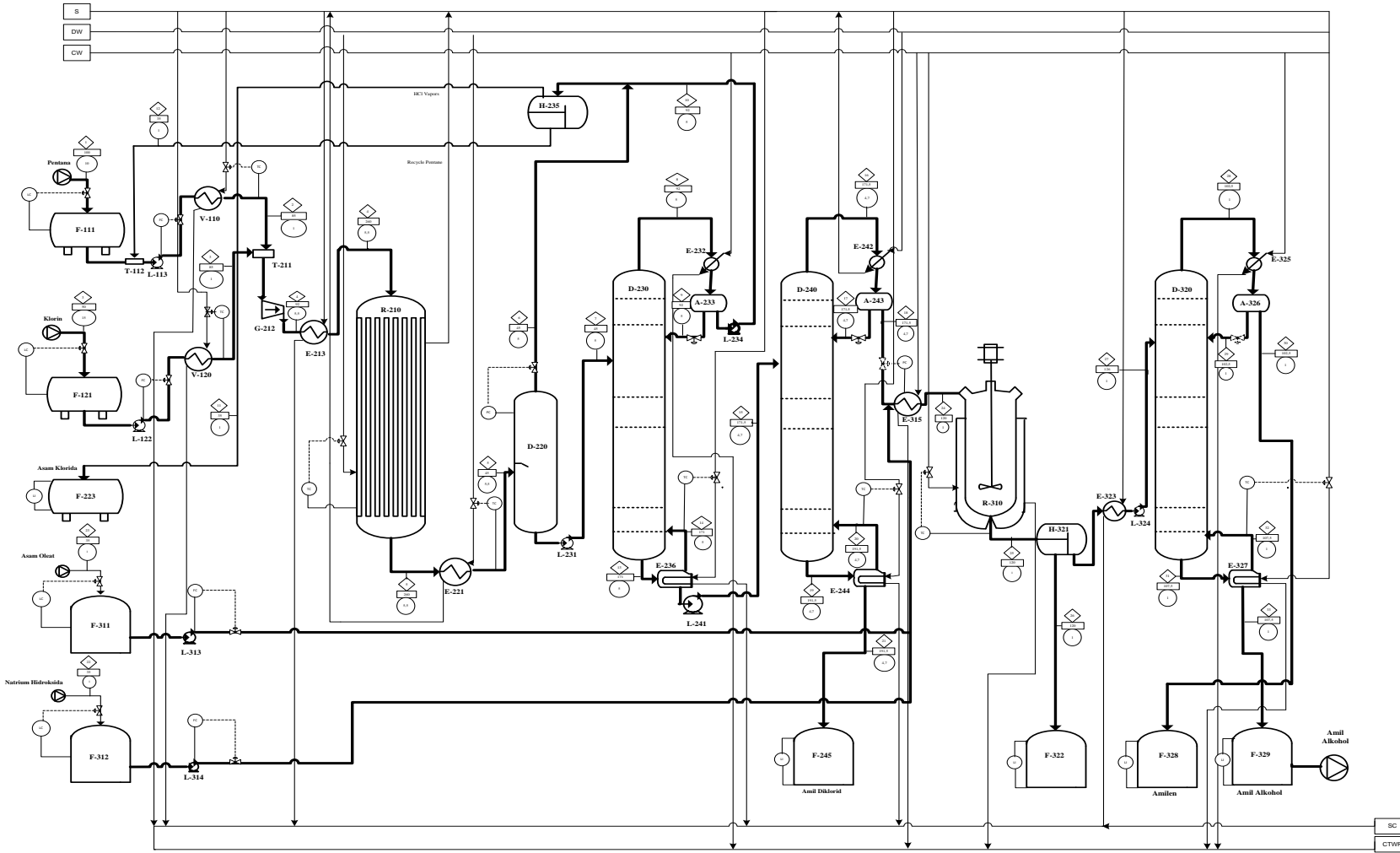
- Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D. (1991). *Plant Design and Economic for Chemical Engineers Handbook*, 7<sup>th</sup> edition. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Riegels. 1982. *Handbook of Industrial Chemistry*. New York: Van Nostrand Reinhold Company
- Silla, H. (2003). *Chemical Process Engineering*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Smith, J. M. (2001). *Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> Edition*. Singapore : McGraw-Hill.
- Smith, R. (2005). *Chemical Process Design and Integration*. England : John Wiley & Sons, Ltd.
- Seader, J.D., dan Henley, E.J. 2006. *Separation Process Principles 2nd Edition*. Hoboken : John Wiley & Sons.
- Ullman. 2003. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6<sup>th</sup> ed , Vol. 3. New York: John Willey & Sons.
- Ulrich, G. D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley and Sons.
- Undang-undang Republik Indonesia, No. 32 Tahun 2009. *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Indonesia.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment, Selection and Design*. United States of America : Butterworth-Heinemann.
- Winkle, M. V. (t.thn.). *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Yaws, C. L. (2014). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

[www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)  
[www.matche.com](http://www.matche.com)  
[www.sciencelab.com](http://www.sciencelab.com)





# “ Flowsheet of Industry Amyl Alcohol “



KETERANGAN ALIRAN PROSES			
CS	Cooling Water	○	Tekanan (atm)
S	Steam	□	Temperatur (°C)
DW	Demineral Water	◇	Flow Rate
CTWR	Cooling Water Return	⊗	Batch Size
EC	Steam condensate	⊙	Produk

No.	Kode Peralatan	Nama Alat	Jumlah
42	F-329	Tangki Penyimpanan Amil Alkohol	1
41	F-328	Tangki Penyimpanan Amilen	1
40	E-327	Reboiler	1
39	A-326	Akumulatur	1
38	E-325	Kondensor	1
37	L-324	Pompa	1
36	E-323	Heater	1
35	F-322	Tangki Penyimpanan bottom produk dekanter	1
34	H-321	Dekanter	1
33	D-320	Kolom Amil Alkohol	1
32	E-315	Cooler	1
31	L-314	Pompa	1
30	L-313	Pompa	1
29	F-312	Tangki Penyimpanan NaOH	1
28	F-311	Tangki Penyimpanan Asam Oleat	1
27	R-310	Reaktor	1
26	F-245	Tangki Penyimpanan Amil Diklorid	1
25	E-244	Reboiler	1
24	A-243	Akumulatur	1
23	E-242	Kondensor	1
22	L-241	Pompa	1
21	D-240	Kolom Amil Diklorid	1
20	E-236	Reboiler	1
19	H-235	Dekanter	1
18	L-234	Pompa	1
17	A-233	Akumulatur	1
16	E-232	Kondensor	1
15	L-231	Pompa	1
14	D-230	Kolom Amil Klorid	1
13	E-221	Waste Heat Boiler	1
12	D-220	Flash Tank	1
11	E-213	Heater	1
10	G-212	Kompresor	1
9	T-211	Header	1
8	R-210	Reaktor	1
7	L-122	Pompa	1
6	F-121	Tangki penyimpanan Klorin	1
5	V-120	Vaporizer	1
4	L-113	Pompa	1
3	T-112	Header	1
2	F-111	Tangki Penyimpanan Pentana	1
1	V-110	Vaporizer	1

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA	
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI	
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	
FABRIK AMIL ALKOHOL, BAKU, PONTIANAK DAN KLOREIN DENGAN PROSES KLORENASI	
Disusun Oleh:	SURYA PARIKREASTY "101001101"
NAMA LAIN:	LITA LARAWATI "101001101"
Dosen Pembimbing:	Dr. L. L. Y. PUSKASARI, MT
	ALYAH FERDINANDY B. S. S. ST

No	Komponen	Aliran (kg/hari)																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1	Cl <sub>2</sub>			20197,4	20197,4																														
2	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	21595,1	21595,1		21595,1	243,635	1032,47	2601,45	1579,3	1022,15		1022,15	12,1787	1,85392	10,3247	18,2639	7,9392	10,3247	0,00153	0,00149	7,9E-23				10,3247	10,3247		10,3247	27,9906	17,6658	10,3247	0,15187	0,01318	0,13869	
3	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl				29729,5	9632,12	29184,2	742,761	450,919	291,842			34080,3	5187,95	28892,3	50598	21994,6	28603,4	21955	21377,2	395,277				28603,4	62,6112		62,6112	0	0	0	68,5609	5,9497	62,6112	
4	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH																									22883,8		22883,8	620,384	391,546	228,838	24807,7	2152,81	22654,9	
5	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>																										563,1		563,1	1511,31	953,842	557,469	6,16609	0,53509	5,631
6	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub>				401,482	545,278	399,285	0,04079	0,02476	0,01603	0,01603		470,963	71,6933	399,269	7,06287	3,07018	3,99269	30036,7	29246,1	684,2				3,99269	3,99269		3,99269	0	0	0	4,34322	0,3769	3,96632	
7	H <sub>2</sub> O																									807,896	12230,2	12230,2							
8	HCl				10385,4	2,19609	753,311	1917,24	1163,93	753,311	753,311		1,2E-06	1,9E-07	1,1E-06	1,9E-06	8,1E-07	1,1E-06	6E-21	1,2E-25	288,923					1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06							
9	NaOH																							10704,6		10704,6	0	0							
10	NaCl																							12085,5			15653,9	15653,9							
11	Na. Oleat																																		
Total		21595,1	21595,1	20197,4	41792,5	62111,4	10423,2	31369,2	5261,49	3194,18	2067,32	1022,15	1022,15	34563,4	5261,49	29301,9	50623,3	22005,6	28617,7	51991,7	50623,3	1368,4	22790,2	260,847	40130,3	51407,9	27884,1	23523,8	2159,69	1363,05	796,632	24887	2159,69	22727,3	

## **RIWAYAT PENULIS**



Nuvies Dwi Kurniaty, penulis dilahirkan di Pamekasan pada tanggal 7 November 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Siti Khodijah pada tahun 2002, lulus dari SDN Demangan 2 Bangkalan pada tahun 2008, lulus dari SMP Negeri 1 Bangkalan pada tahun 2011 dan lulus dari SMA Negeri 1 Bangkalan pada tahun 2014. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Program Studi Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS dengan Nomor Registrasi 2314 030 107. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Bidang Hubungan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Kimia Industri FV–ITS (2015-2016). serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PG. Krebet, Malang.

Email : [nuviesdwi.kurniaty@gmail.com](mailto:nuviesdwi.kurniaty@gmail.com)

## RIWAYAT PENULIS



Lita Laraswati, penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 20 April 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Saraswati pada tahun 2001, lulus dari SDN Morokrembangan 2 Surabaya pada tahun 2007, lulus dari SMP Negeri 7 Surabaya pada tahun 2010 dan lulus dari SMK Negeri 5 Surabaya pada tahun 2014. Setelah lulus SMK, penulis diterima di Program Studi Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS dengan Nomor Registrasi 2314 030 113. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Bidang Hubungan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS (2015-2016). serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PG. Kebon Agung, Malang.

Email: [lita.laras204@gmail.com](mailto:lita.laras204@gmail.com)